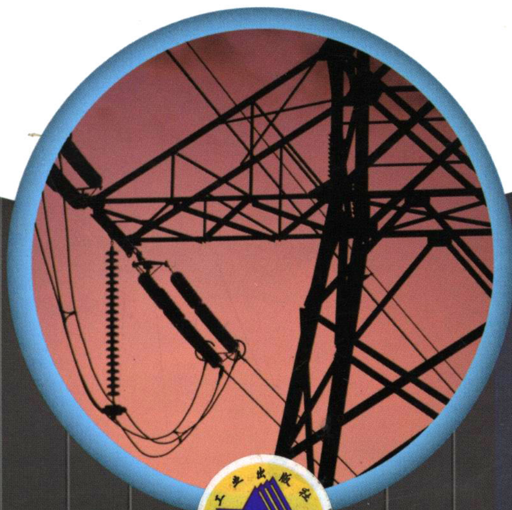
郎永强　等编著

电工技能9天速成





DIANGONG JINENG 9TIAN SUCHENG



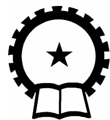
机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

电工技能9天速成

郎永强　等编著



机 械 工 业 出 版 社

本书是按照最新国家标准和电气行业标准编写的，内容详尽实用，图表齐全，包括电工基础知识，电工常用工器具的使用方法，变压器安装与运行技术，架空配电线路施工技术，电缆线路施工技术，室内布线与电气照明设备安装技术，电动机的安装、运行与维护技术，电气故障维修技术，电气安全知识等内容。

本书适用于基层农村电工、工厂电工、安装电工自学阅读，另外专门从事电工技术培训、农民工电气技能培训的人员，以及考取电工上岗证的技术工人也可以使用本书。

图书在版编目（CIP）数据

电工技能9天速成/郎永强等编著．—北京：机械工业出版社，2012.7
ISBN 978-7-111-38894-4

Ⅰ.①电…　Ⅱ.①郎…　Ⅲ.①电工技术—基本知识　Ⅳ.①TM

中国版本图书馆CIP数据核字（2012）第132768号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号　邮政编码100037）
策划编辑：付承桂　　责任编辑：闾洪庆
版式设计：霍永明　　责任校对：于新华
封面设计：路恩中　　责任印制：杨　曦
北京圣夫亚美印刷有限公司印刷
2012年8月第1版第1次印刷
148mm×210mm・9.625印张・301千字
0001—4000册
标准书号：ISBN 978-7-111-38894-4
定价：29.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
社服务中心：（010）88361066	教材网：http://www.cmpedu.com
销售一部：（010）68326294	机工官网：http://www.cmpbook.com
销售二部：（010）88379649	机工官博：http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线：（010）88379203	**封面无防伪标均为盗版**

前 言

PREFACE

众所周知，随着社会的发展和进步，电气化和自动化程度越来越高，高度发达的现代科技给我们的生活带来便捷和舒适的同时，也让人们的生活节奏越来越快。“时间不够用”成了很多人的工作体会，大家都希望用更少的时间掌握更多的技术以适应自身工作的需要。特别是作为电气工人，电气技术的进步日新月异，而人们对电能的依赖也越来越强烈，我们身边的一切几乎都与“电”有着千丝万缕的联系，所以每一位电气技术工人，都必须不断提高自身的技术素质，以适应现代化电气时代对我们的要求。因此，为了帮助广大的基层电工，特别是刚刚走上岗位的初级电工尽快掌握电气技能，也为了帮助很多进城找工作的农民工更快地学好电工操作技术，我们特编写了本书。

“速成”就是“快速地学业有成”，高效而充分地利用学习时间，全面而迅速地掌握电气技术是我们编写本书的出发点。为了达到“速成”的目的，本书有如下特点：首先，浓缩电工精华技术，并与实践工作相结合，所学即是所见，放下书就能操作，并以此为契机触类旁通、举一反三，达到全面掌握电气技术的目的；第二，在每天的学习结束后，都附有问答题，让读者通过回答这些问题，巩固所学知识，熟练操作技巧，达到学业有成的目标；第三，本书的编写打破了章节体例的编写惯例，以一天一天的时间安排为纲

要，环环相扣，易学易懂，一步一步地引导读者进入一种全新的学习模式中去。

另外，我们从很多新闻报道中看到，技能人才的严重缺乏已经开始在很多地区制约经济的增长，特别是在很多大中型城市，“技术蓝领”的工资也已经悄然超过了很多“白领”，所以本书除了适用于基层农村电工、工厂电工、安装电工自学阅读外，还非常适用于专门从事电工技能培训的技工院校、大型企事业单位对电气工人的快速培训以及进城务工考取电工上岗证的农民工学习使用。

参与本书编写的还有高鹏、孙传振、张国强、史波、徐学林等。限于作者自身水平，如有不妥之处，敬请批评指正！

作　者

目　录
CONTENTS

前　言

第 1 天　学习电工基础知识 …… 1

上午（8:00 ~ 11:30） …… 1

1.1　学习常用电气名词术语 …… 1

1.2　认识常用电气图形符号 …… 6

1.3　认识常用电气文字符号 …… 8

下午（13:00 ~ 17:30） …… 12

1.4　学习电工常用基本定律 …… 12

1.4.1　电磁感应定律 …… 12

1.4.2　基尔霍夫定律 …… 13

1.4.3　欧姆定律 …… 14

1.5　背诵电工常用速算公式 …… 15

1.5.1　电气导线速算公式 …… 15

1.5.2　电气设备速算公式 …… 20

1.5.3　电气负荷速算公式 …… 24

今天问答题 …… 29

第 2 天　学习电工常用工器具的使用方法 …… 30

上午（8:00 ~ 11:30） …… 30

2.1　学习便携式电工工器具的使用方法 …… 30

2.1.1　钢丝钳 …… 30

2.1.2　尖嘴钳 …… 30

2.1.3　斜口钳 …… 31



2.1.4 剥线钳……31
2.1.5 螺钉旋具……32
2.1.6 电工刀……33
2.1.7 钢锯……34
2.1.8 手锤……34
2.1.9 扳手……36
2.1.10 电工凿……37
2.1.11 电工工具包和工具夹……37
2.2 学习设备安装工具的使用方法……38
2.2.1 紧线器……38
2.2.2 压接钳……39
2.2.3 电烙铁……40
2.2.4 手电钻……42
2.2.5 绞杠及板牙……43
2.2.6 喷灯……45
2.2.7 射钉枪……45
2.3 学习安全工器具的使用方法……47
2.3.1 安全帽……47
2.3.2 绝缘手套……47
2.3.3 绝缘靴……48
2.3.4 绝缘垫……49
2.3.5 绝缘操作杆……50
2.3.6 绝缘钳……51
2.3.7 标示牌……52
2.3.8 遮栏……53
下午（13:00～17:30）……54
2.4 学习电工常用仪表的使用方法……54
2.4.1 验电笔……54
2.4.2 万用表……55
2.4.3 钳形电流表……64
2.4.4 绝缘电阻表……68
今天问答题……72

第3天 学习变压器安装与运行技术 73
上午（8:00～11:30） 73
3.1 变压器在电力系统中的作用 73
3.2 变压器的工作原理 74
3.3 变压器的结构 76
3.4 科学合理选择变压器的方法 81
3.4.1 变压器容量选择的基本要求 81
3.4.2 变压器容量选择的方法 82
3.5 科学合理选择变压器高、低压侧熔丝 83
3.6 变压器的室外安装 84
3.6.1 变压器安装前的检查 84
3.6.2 杆架式变压器台的安装 84
3.6.3 地台式变压器台的安装 86
3.6.4 落地式变压器台的安装 88
下午（13:00～17:30） 89
3.7 变压器的室内安装 89
3.7.1 基础施工 89
3.7.2 安装 91
3.7.3 接线 91
3.8 变压器的投运及停运操作程序 95
今天问答题 97
第4天 学习架空配电线路施工技术 98
上午（8:00～11:30） 98
4.1 架空配电线路的组成 98
4.1.1 电杆 98
4.1.2 横担 99
4.1.3 导线 100
4.1.4 绝缘子 101
4.1.5 金具 102
4.2 架空配电线路的施工 105



4.2.1 挖坑 105
4.2.2 杆基的加固 105
4.2.3 电杆的组装 106
4.2.4 立杆及埋杆 108
下午（13:00～17:30） 111
4.2.5 安装拉线 111
4.2.6 导线的安装 115
4.3 架空配电线路的运行维护 124
今天问答题 124
第5天 学习电缆线路施工技术 125
上午（8:00～11:30） 125
5.1 电缆的结构 125
5.2 电缆预埋件配合土建工程的安装 125
5.2.1 电缆引入（或引出）管的敷设 126
5.2.2 电缆支架、托臂的安装 127
5.3 电缆线路的直埋敷设 130
5.3.1 电缆沟的挖掘 130
5.3.2 电缆在沟内的展放 132
5.3.3 电缆沟回填 135
下午（13:00～17:30） 136
5.4 电缆沟内的敷设施工 136
5.5 电缆桥架的敷设施工 140
5.6 电缆终端头的安装 143
5.7 电缆线路的维护与检修 146
今天问答题 147
第6天 学习室内布线与电气照明设备安装技术 148
上午（8:00～11:30） 148
6.1 护套线布线施工 148
6.2 瓷绝缘子布线施工 152
6.3 室内暗装导线的施工 157

6.3.1 配合土建工程预埋管路件 …… 158
6.3.2 管内穿线 …… 173
6.4 室内线路连接点的合理安排 …… 175
6.4.1 将连接点安排在插座盒内的方法 …… 175
6.4.2 将连接点安排在开关盒内的方法 …… 176
6.4.3 将连接点安排在灯头盒内的方法 …… 176
6.4.4 将连接点安排在接线盒内的方法 …… 176
下午（13:00～17:30） …… 178
6.5 室内线路的连接工艺 …… 178
6.5.1 导线绝缘层的剥离 …… 178
6.5.2 单股铜芯导线的一字形（直线）连接 …… 182
6.5.3 单股铜芯导线的 T 字形连接 …… 184
6.5.4 双股导线的连接 …… 185
6.5.5 多股导线的一字形（直线）连接 …… 186
6.5.6 多股导线的 T 字形连接 …… 188
6.5.7 不等径导线的连接 …… 190
6.5.8 导线的封端 …… 190
6.5.9 线头与接线桩的连接 …… 194
6.5.10 导线绝缘层的恢复 …… 197
6.6 照明设备安装技术 …… 198
6.6.1 白炽灯 …… 198
6.6.2 荧光灯 …… 201
6.7 照明开关 …… 202
6.8 插座 …… 205
今天问答题 …… 209
第 7 天 学习电动机的安装、运行与维护技术 …… 210
上午（8:00～11:30） …… 210
7.1 电动机的基本结构 …… 210
7.2 科学合理选择电动机 …… 215
7.2.1 电动机选用的基本要求 …… 215
7.2.2 电动机类型的选择 …… 215

7.2.3 电动机转速的合理选择 …… 215
7.2.4 电动机功率的合理选择 …… 216
7.2.5 传动装置的合理选择 …… 217
7.3 电动机的安装和接线 …… 219
7.3.1 安装 …… 219
下午（13:00～17:30） …… 223
7.3.2 接线 …… 223
7.3.3 电动机控制设备的安装和操作 …… 227
7.4 电动机的起动试运行 …… 230
7.4.1 起动前的检查 …… 230
7.4.2 电动机起动时的注意事项 …… 230
7.4.3 电动机直接起动的要求 …… 231
7.4.4 电动机的起动试运行操作方法 …… 232
7.5 电动机常见故障的排除 …… 233
今天问答题 …… 238

第8天 学习电气故障维修技术 …… 239

上午（8:00～11:30） …… 239
8.1 电气故障的查找方法及步骤 …… 239
8.1.1 根据故障现象进行合理剖析 …… 239
8.1.2 电气故障原因的合理推理 …… 240
8.1.3 电气故障部位的正确定位 …… 241
8.2 常见电源故障的检修 …… 242
8.2.1 电源故障的查找方法 …… 242
8.2.2 单相电源故障的检修 …… 243
8.2.3 三相电源故障的检修 …… 245
8.3 常用低压电气设备的故障检修 …… 248
8.3.1 熔断器的故障检修 …… 248
8.3.2 开关设备的故障检修 …… 250
下午（13:00～17:30） …… 253
8.3.3 交流接触器的故障检修 …… 253
8.3.4 继电器的故障检修 …… 256

8.4 常用电动工器具的故障检修……258
8.4.1 手电钻的常见故障检修……258
8.4.2 交流电焊机的常见故障检修……260
8.4.3 单相电动扳手和电动螺钉旋具的常见故障检修……261
今天问答题……263
第9天 学习电气安全知识……264
上午（8:00～11:30）……264
9.1 背诵保证电工安全的措施……264
9.1.1 保证电工安全的组织措施……264
9.1.2 保证电工安全的技术措施……268
9.2 电气防火防爆措施……271
9.2.1 发生电气火灾或爆炸的原因……271
9.2.2 电气防火、防爆安全要求……273
9.2.3 电气火灾的扑救……277
下午（13:00～17:30）……280
9.3 漏电保护器的安装……280
9.3.1 漏电保护器的种类……280
9.3.2 漏电保护器动作电流和动作时间的选择……281
9.3.3 漏电保护器的安装……282
9.4 触电急救……285
9.4.1 人体触电后的表现……285
9.4.2 使触电者脱离电源的方法……285
9.4.3 救治触电者的方法……287
今天问答题……294

第 1 天

学习电工基础知识



上午（8:00 ~ 11:30）

1.1 学习常用电气名词术语

1）电荷。电荷是物质的一种固有属性。我们把组成物质的无数带电微粒（如质子、电子）称为电荷。电荷有两种：一种叫做正电荷，另外一种叫做负电荷。在电荷之间存在着相互作用力，同性电荷相互排斥、异性电荷相互吸引（见图 1-1）。在正常条件下，任何一个物体带正电和带负电相等，呈中性。但如果由于某种原因（如摩擦、电磁作用等），使负电荷多于或少于正电荷，因而这个物体便带负电或正电。这种有电荷存在和电荷变化的现象，就是我们日常说的“电”。

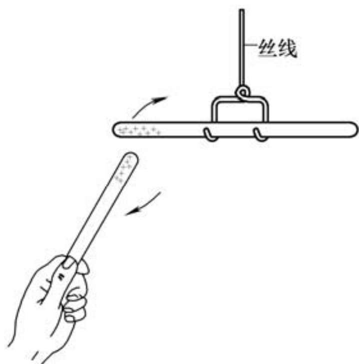


图 1-1　两根摩擦带电的玻璃棒相互排斥

2）电流。电荷在电场力作用下的有序运动形成电流（见图 1-2），其量值为单位时间内通过电路某一导体横截面的电荷量。用符号 I 表示，单位为 A（安培）。

3）电压。电路中两点之间的电位差称为电压。用符号 U 表示，单位为 V（伏特）。

4）电动势。单位正电荷由低电位移向高电位时非静电力对它所做的功称为电动势。用符号 E 表示，单位是 V（伏特）。



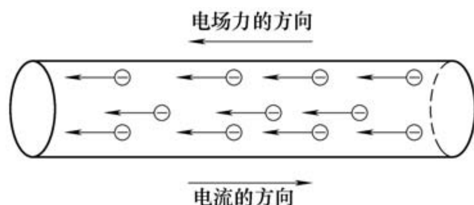


图 1-2　电荷在电场力的作用下有序运动形成电流

5）电阻。当把不同的负载接到电源上去的时候，负载中通过的电流大小是不相同的。例如，在一根铜棒的两端和一根铁棒的两端加上同样的电压，在两根棒中的电流将会相差很大，这是因为不同材料对于电流具有不同的阻力的缘故。我们通常把加在导体两端的电压和通过导体的电流的比值叫做电阻。电阻是阻碍电流通过的能力，用符号 R 或 r 表示，单位是 Ω（欧姆）。

6）电阻率。电阻率又叫做电阻系数，是衡量物质导电性能好坏的一个物理量，用符号 ρ 表示，单位为 Ω·m。在数值上等于长为 1m、截面积为 $1m^2$ 的导线，在温度为 20℃时的电阻值。电阻率越大，导电性能越低。

7）电阻的温度系数。电阻的温度系数表示物质的电阻率随温度而变化的物理量，其数值等于温度每升高 1℃时，电阻率的变化量与原来电阻率的比值，通常以符号 α 表示，单位为 1/℃。

8）电导。物体传导电流的本领叫做电导。在直流电路里，电导的数值就是电阻值的倒数，以符号 G 表示，单位为 S（西门子）。

9）电导率。电导率又叫做电导系数，也是衡量物质导电性能好坏的一个物理量。大小在数值上是电阻率的倒数，以符号 γ 表示，单位为 S/m（西/米）。

10）自感。当闭合回路中的电流发生变化时，那么由这个变化电流所产生、穿过回路本身的磁通也会发生变化，因此在回路中也会感应电动势，这种现象称为自感现象，这种感应电动势叫做自感电动势。穿过回路所包围面积的磁通与产生此磁通的电流之间的比例系数，叫做回路的自感系数，简称自感。其数值等于单位时间内，电流变化一个单位时由于自感而引起的电动势，用符号 L 表示，单位为 H（亨利）。

11）互感。两只相邻线圈，当任一线圈中的电流发生变化时，则在另一只线圈中产生感应电动势，这种电磁感应现象叫做互感。由此产生的

感应电动势称为互感电动势。用符号 M 表示，单位为 H。

12）电感。电感是自感与互感的统称。

13）电容。凡是用绝缘介质隔开的两个导体就构成了一个电容器。两个极板在单位电压作用下每一极板上所存储的电荷量叫做该电容器的电容，用符号 C 表示，单位为 F（法拉）。

14）感抗。交流电流通过具有电感的电路时，电感有阻碍交流电流通过的作用，这种作用称为感抗，用 X_L 表示，单位为 Ω。

15）容抗。交流电流通过具有电容的电路时，电容有阻碍交流电流通过的作用，这种作用称为容抗，用 X_C 表示，单位为 Ω。

16）阻抗。交流电流在通过具有电阻、电感、电容的电路时，会产生阻碍交流电流通过的作用，这种作用称为阻抗，用符号 Z 表示，单位为 Ω。

17）直流电。大小和方向不随时间变化的电流称为直流电。

18）交流电。大小和方向随时间周期性变化的电流称为交流电。

19）正弦交流电。随时间按正弦规律变化的交流电流称为正弦交流电。

20）非正弦交流电。随时间不按正弦规律变化的交流电流称为非正弦交流电。

21）脉动直流电。大小随时间变化而方向不变的电流称为脉动直流电。

22）频率。交流电流 1s 内电流方向改变的次数称为频率，用符号 f 表示，单位为 Hz（赫兹）。

23）周期。交流电完成一次完整的变化所需的时间称为周期，用符号 T 表示，单位为 s（秒）。

24）瞬时值。交流电在任一瞬间的值称为瞬时值，用小写字母表示，如 i、u、e 分别表示电流、电压及电动势的瞬时值。

25）最大值。瞬时值中的最大幅值称为最大值，用带下标 m 的大写字母表示，如 I_{m}、U_{m}、E_{m} 分别表示电流、电压及电动势的最大值。

26）有效值。如某一交流电通过某一电阻经过一定时间所产生的热量，等于某一直流电通过同一电阻在同一时间所产生的热量，则该直流电的数值即称为交流电的有效值，即交流电的有效值就是与它的热效应相当的直流值。用大写字母 I、U、E 分别表示电流、电压及电动势的有效值。



27）平均值。交流电的平均值是指某段时间内流过电路的总电荷与该段时间的比值。正弦交流电的平均值通常指正半周内的平均值。

28）电功。电流所做的功叫做电功，用符号 W 表示，单位为 J（焦耳）和 kW · h（千瓦 · 时）。

29）电功率。单位时间（1s）电流所做的功叫做电功率，用符号 P 表示，单位为 W 或 kW。

30）瞬时功率。交流电路中任一瞬间的功率称为瞬时功率，用符号 P_t 表示，单位为 W 或 kW。

31）有功功率。正弦交流电路的瞬时功率在一个周期内的平均值，称为有功功率，用符号 P_a 表示，单位为 W 或 kW。

32）视在功率。电流 I 和电压 U 的有效值的乘积称为视在功率，用符号 S 或 P_s 表示，单位为 V · A 或 kV · A。

33）无功功率。具有电感或电容的电路中，在半周期的时间里，电源的能量变成磁场（或电场）的能量存储起来，而在另半周期的时间里，又把存储在磁场（或电场）的能量释放出来送还电源。它只与电源进行能量交换而没有消耗能量。与电源交换能量的速率的振幅值叫做无功功率，用符号 Q 或 P_r 表示，单位为 var（乏）或 kvar（千乏）。

34）功率因数。有功功率与视在功率的比值称为功率因数 $\cos\varphi$。

35）效率。能量在转换或传递的过程中总要消耗一部分，即输出小于输入，输出能量与输入能量的比值叫做效率，用符号 η 表示。

36）相电压。三相电路中，相线与中性线之间的电压称为相电压。

37）线电压。三相电路中，相线与相线之间的电压称为线电压。

38）相电流。三相电路中，流过每相上的电流称为相电流。

39）线电流。三相电路中，三根端线中的电流称为线电流。

40）相位。相位表示自正弦量零点开始经历了多少角度，它反映了正弦量的变化进程。

41）相量。相量用来表示正弦量大小和相位的矢量。

42）磁场。处在磁铁或载流导体周围空间的其他磁性物质或载流导体将受到磁场力的作用，即说明在磁铁或载流导体周围的空间存在着磁场。

43）磁感应强度（磁通密度）。磁感应强度表示磁场大小与方向的基本物理量，它的方向即是磁场的方向。当正电荷在磁场中运动，其运动方

向与磁场方向垂直时，则单位正电荷以单位速度运动时所受到的磁场作用力，即为磁感应强度的大小。用符号 B 表示，单位为 T（特斯拉）。

44）磁通。磁感应强度与垂直于磁场方向的面积的乘积称为磁通。用符号 Φ 表示，单位为 Wb（韦伯）。

45）磁场强度。磁场强度是表示磁场大小与方向的物理量。磁场强度的闭合线积分等于该闭合线所包围的宏观传导电流的代数和，与导磁场物质无关。用符号 H 表示，单位为 A/m。

46）磁阻。磁阻是磁路对磁通所起的阻碍作用，用符号 R_{m}，单位为 1/H（1/亨）。

47）磁导率。磁导率是衡量物质导磁性能的一个系数，用符号 μ 表示，单位为 H/m。

48）相对磁导率。任一物质的磁导率 μ 与真空磁导率 μ_0 之比值称为相对磁导率，用符号 μ_{r} 表示。

49）电磁力。载流导体在外磁场中将受到力的作用，这种力称为电磁力。用符号 F 表示，单位为 N（牛顿）。

50）磁滞。铁磁体在反复磁化的过程中，其磁感应强度的变化总是滞后于磁场强度的变化，这种现象称为磁滞。

51）涡流。处在变化磁场中的导电物质内部将产生感应电流，以反抗磁通的变化，这种感应电流称为涡流。

52）剩磁。处在磁场中的铁磁物质当移去磁场后，仍会保持一定的磁性称为剩磁。

53）电场。把电荷（或带电体）引入其他带电体周围的空间时，将会受到力的作用，就是说在带电体周围存在电场。

54）电场强度。电场强度是表示电场强弱的物理量。数值上等于单位正电荷在该点处所受的作用力，方向是正电荷受力的方向。用符号 E 表示，单位为 V/m。

55）击穿。电介质在电场的作用下发生剧烈放电或导电的现象叫做击穿。

56）绝缘强度。绝缘强度又称击穿电场强度。它是电介质不被击穿所能承受的极限电场强度。

57）导体。内部的带电质点能够自由移动的物体称为导体。

58）半导体。导电性能介于导体与绝缘体之间的物体称为半导体，

如硅、锗等。

59）绝缘体。绝缘体又称电介质。电导率很小的物体称为绝缘体，如玻璃、云母等。

60）电流的热效应。当电流通过导体时将由于导体电阻而产生功率损耗并转换成热能，这种效应称为电流的热效应，如电炉就是利用了这一原理。

61）电流的磁效应。电流在其周围的空间产生磁场，当载流导体处于该磁场中时，将受到力的作用，这种效应称为电流的磁效应。如电动机、电磁测量仪表等都利用了这一原理。

1.2 认识常用电气图形符号

常用电气图形符号如表 1-1 所示。

表 1-1　常用电气图形符号

名　称	图形符号	名　称	图形符号
直流电		变压器	
交流电		直流/交流变换器	
交直流通用		测试电压	
正极、正号	+	危险电压	
负极、负号	−	接地	
导线、导线组、电线、电缆、电路、传输通路（如微波技术）、线路、母线（总线）一般符号		保护接地	

（续）

名　　称	图 形 符 号	名　　称	图 形 符 号
三根导线 可标注附加信息，如： （在横线上面注出） ——电流种类 ——配电系统 ——频率 ——电压 （在横线下面注出） ——导线数 ——每根导线的横截面 ——导线材料的化学符号 导线数后面标其截面积，并用×号隔开 若截面积不同时，用“+”号隔开	或 3	接机壳、接机架	
电阻器一般符号		信号低端	
滑线式变阻器		等电位	
熔断器		输出	
电容器一般符号		输入	
穿心电容器 旁路电容器		过电压保护装置	

（续）

名　　称	图形符号	名　　称	图形符号
电感器，线圈，绕组，扼流圈		通/断（按一按）	
带磁心的电感器		通/断（按钮）	

1.3 认识常用电气文字符号

1．常用电气设备基本文字符号（见表1-2）。

表1-2　常用电气设备基本文字符号

设备、装置和元器件种类	名　　称	基本文字符号	
		单字母	双字母
组件部件	电桥	A	AB
	晶体管放大器		AD
	集成电路放大器		AJ
	磁放大器		AM
	电子管放大器		AV
	印制电路板		AP
	抽屉柜		AT
	支架盘		AR
电容器	电容器	C	
保护器件	过电压放电器件（避雷器）	F	
	具有瞬时动作的限流保护器件		FA
	具有延时动作的限流保护器件		FR
	具有延时和瞬时动作的限流保护器件		FS
	熔断器		FU
	限压保护器件		FV

（续）

设备、装置和元器件种类	名　称	基本文字符号	
		单字母	双字母
发生器 发电机 电源	发生器	G	GS
	同步发电机		
	异步发电机		GA
	蓄电池		GB
	旋转式或固定式变频机		GF
信号器件	声响指示器	H	HA
	光指示器		HL
	指示灯		HL
继电器 接触器	瞬时接触继电器	K	KA
	瞬时有或无继电器		
	交流继电器		
	闭锁接触继电器 （机械闭锁或永磁铁式有或无继电器）		KL
	双稳态继电器		
	接触器		KM
	极化继电器		KP
	簧片继电器		KR
	延时有或无继电器		KT
	逆流继电器		KR
电感器 电抗器	感应线圈	L	
	线路陷波器		
	电抗器（并联和串联）		
电动机	电动机	M	
	同步电动机		MS
	可做发电机或电动机的电机		MG
	力矩电动机		MT

（续）

设备、装置和元器件种类	名　　称	基本文字符号	
		单字母	双字母
测量设备 试验设备	电流表	P	PA
	（脉冲）计数器		PC
	电能表		PJ
	记录仪表		PS
	时钟、操作时间表		PT
	电压表		PV
电阻器	电阻器	R	
	变阻器		
	电位器		RP
	测量分路表		RS
	热敏电阻器		RT
	压敏电阻器		RV
变压器	电流互感器	T	TA
	控制电路电源用变压器		TC
	电力变压器		TM
	磁稳压器		TS
	电压互感器		TV
端子 插头 插座	连接插头和插座 接线柱 电缆封端和接头 焊接端子板	X	
	连接片		XB
	测试插孔		XJ
	插头		XP
	插座		XS
	端子板		XT

2．常用电气辅助字母符号（见表 1-3）。

表 1-3　常用电气辅助字母符号

文字符号	名　称	文字符号	名　称
A	电流	FB	反馈
A	模拟	FW	正，向前
A（AUT）	自动	GN	绿
AC	交流	H	高
ACC	加速	IN	输入
ADD	附加	IND	感应
ADJ	可调	ING	增
ASY	异步	L	左
AUX	辅助	L	限制
B（BRK）	制动	L	低
BK	黑	LA	闭锁
BL	蓝	M	主
BW	向后	M	中
C	控制	M	中间线
CCW	逆时针	M（MAN）	手动
CW	顺时针	N	中性线
D	延时（延迟）	OFF	断开
D	差动	ON	闭合
D	数字	OUT	输出
D	降	P	压力
DC	直流	P	保护
DEC	减	PE	保护接地
E	接地	PEN	保护接地与中性线共用
EM	紧急	PU	不接地保护
F	快速	R	记录



（续）

文字符号	名　称	文字符号	名　称
R	反	STP	停止
R	右	SYN	同步
RD	红	T	温度
R（RST）	复位	T	时间
RES	备用	TE	无噪声（防干扰）接地
RUN	运转	V	速度
S	信号	V	真空
ST	启动	V	电压
S（SET）	置位，定位	WH	白
SAT	饱和	YE	黄
STE	步进		



下午（13:00 ~ 17:30）

1.4 学习电工常用基本定律

1.4.1 电磁感应定律（见表 1-4）

表 1-4 电磁感应定律

名　称	示意图	说　明
直导体右手螺旋定则	磁力线方向 电流方向	大拇指——指向电流方向 弯曲四指——指向磁力线方向
螺旋线圈右手螺旋定则	电流方向 S 磁力线方向 N	大拇指——指向螺旋线圈内部的磁力线方向 弯曲四指——指向电流方向

（续）

名　　称	示　意　图	说　　明
左手定则		伸直四指——指向电流方向 掌心——穿过磁力线，即对准 N 极 大拇指——电磁力方向
右手定则		大拇指——导体运动方向 掌心——穿过磁力线，即对准 N 极 伸直四指——感应电动势方向

1.4.2　基尔霍夫定律（见表 1-5）

表 1-5　基尔霍夫定律

名　　称	示　意　图	说　　明
基尔霍夫第一定律——流入任一节点电流的代数和等于零	$\Sigma I_{入} = \Sigma I_{出}$或$\Sigma I = 0$ 例 $I_1+I_3+I_4+I_5 = I_2$ 或 $I_1-I_2+I_3+I_4+I_5 = 0$	$\Sigma I_{入}$——流入节点电流之和 $\Sigma I_{出}$——流出节点电流之和 ΣI——电流代数和

（续）

名　　称	示 意 图	说　　明
基尔霍夫第二定律——任一回路中，电阻压降的代数和等于电动势代数和	$\Sigma IR = \Sigma E$ 例 E_2 I_2 E_1 R_2 E_3 I_1 R_1 I_3 R_3 $I_1R_1+I_2R_2-I_3R_3 = E_1+E_2-E_3$	

1.4.3　欧姆定律（见表 1-6）

表 1-6　欧姆定律

名　　称	定　　义	示 意 图	说　　明
部分电路欧姆定律	在一段不含电动势只有电阻的电路中，流过电阻的电流大小与加在电阻两端的电压成正比，而与电路中的电阻成反比	$I=\dfrac{U}{R}$ I U R	U——电压，单位是伏特（V） R——电阻，单位是欧姆（Ω） I——电流，单位是安培（A）
全电路欧姆定律	在只有一个电源的无分支闭合电路中，电流与电源电动势成正比，与电路的总电阻成反比	$I=\dfrac{E}{R+r_0}$ I r_0 R E	E——电源电动势，单位是伏特（V） R——负载电阻，单位是欧姆（Ω） r_0——电源的内电阻，单位是欧姆（Ω） I——电路中的电流，单位是安培（A）

1.5　背诵电工常用速算公式

1.5.1　电气导线速算公式

1．导线电阻速算（见表 1-7）

表 1-7　导线电阻速算

<table>
<tr><th colspan="2">项　　目</th><th>公　　式</th><th></th></tr>
<tr><td rowspan="3">单股圆线</td><td>圆铝单线</td><td>$R=\frac{36}{d^2}$</td><td rowspan="6">R——每千米导线直流电阻（Ω）
d——导线直径（mm）
A——导线截面积（mm^2）
L——导线长度（km）
K——系数，见表 1-8</td></tr>
<tr><td>圆铜单线</td><td>$R=\frac{22}{d^2}$</td></tr>
<tr><td>单根镀锌铁线</td><td>$R=\frac{170}{d^2}$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">绞线</td><td>铝绞线</td><td>$R=\frac{30}{A}$</td></tr>
<tr><td>钢芯铝绞线</td><td>$R=\frac{30.5}{A}$</td></tr>
<tr><td colspan="2">导线</td><td>$R=K\frac{L}{A}$</td></tr>
</table>

表 1-8　导线电阻速算系数

导线材料	铝	铜
系数 K	30	17

【例题】　直径为 4mm 的圆铜单线，速算每千米的直流电阻是多少？

解：根据公式

$$R=\frac{22}{d^2}=\frac{22}{4^2}\Omega=1.375\Omega$$

答：直径为 4mm 的圆铜单线，速算每千米的直流电阻是 1.375Ω。

2．导线截面积速算（见表 1-9）

表 1-9　导线截面积速算

项　　目		公　　式	说　　明
电动机供电铝导线截面积		$A=P-K$	A——电动机供电导线截面积（mm^2） P——电动机功率（kW） K——系数，见表 1-10
架空线路铝导线截面积	380/220V 三相四线制架空线路	$A=4M=4PL$	A——导线截面积（mm^2） M——负荷矩（MW·m） P——线路送电功率（kW） L——架空线路长度（km）
	单相 220V 架空线路	$A=24M=24PL$	A——导线截面积（mm^2） M——负荷矩（kW·km） P——线路输送功率（kW） L——架空线路长度（km）
	按电流选择架空线路	$A=\frac{I}{K}$	A——导线截面积（mm^2） I——线路电流（A） K——系数，见表 1-11
供电线路铜导线截面积		$A_{cu}=\frac{A_{A1}}{1.7}$	A_{cu}——供电线路铜导线截面积（mm^2） A_{A1}——供电线路铝导线截面积（mm^2）
按经济电流密度选择导线截面积		$A=KP$	A——导线截面积（mm^2） P——线路负荷（MV·A） K——系数，见表 1-12

表 1-10　电动机供电铝导线截面积速算系数

电动机功率/kW	5.5 以下	7.5	10～75	100	125	150
系数 K	3	4	5	−20	−25	

表 1-11　按电流选择架空线路铝导线截面积速算系数

线路电流/A	100	150	200	250	300	350	400
系数 K	4			3.5	3		2.5

表 1-12　按经济电流密度选择导线截面积速算系数

电压/kV 系数 K 种类	3	6	10
铝电缆	420	210	120
铜电缆	225	110	70
架空铝线	170	86	55
架空铜线	88	46	217
铝母线	170	86	52

【例题】一条 220V 单相照明线路，长为 100m，负荷为 10kW，应选用多大截面积的铜导线？

解：根据公式先选用铝导线的截面积：

$$A_{Al}=24M=24PL=(24\times10\times0.1)\text{mm}^2=24\text{mm}^2$$

铜导线的截面积根据公式：

$$A_{cu}=\frac{A_{Al}}{1.7}=\frac{24}{1.7}\text{mm}^2=14\text{mm}^2$$

答：应选用 14mm^2 的铜导线。

3．导线质量速算（见表 1-13）

表 1-13　导线质量速算

项　　目		公　　式	说　　明
单根导线	圆铜单线	$m=7d^2$	m——每千米导线质量（kg） d——导线直径（mm） A——导线截面积（mm^2）
	圆铝单线	$m=2.12d^2$	
	单股镀锌铁线	$m=6.13d^2$	
绞线	铝绞线	$m=3A$	
	钢绞线	$m=8A$	
	硬铜绞线 镀锌钢线	$m=9A$	
	钢芯铝绞线	$m=4A$	

【例题】请计算导线直径为 0.5mm 的铜导线每千米的质量。

解：根据公式：

$$m = 7d^2 = (7\times0.5^2)\text{kg} = 1.75\text{kg}$$

4．导线安全载流量速算（见表 1-14）

表 1-14　导线安全载流量速算

项　目		公　式	说　明
架空裸导线	铝裸导线	$I = KA$	I——铝绞线安全电流（A） A——铝绞线截面积（mm^2） K——系数（见表 1-15）
	铜裸导线		I——铜绞线安全电流（A） A——铜绞线截面积（mm^2） K——系数（见表 1-16）
绝缘导线	绝缘铝线		I——绝缘铝线安全电流（A） A——铝绞线截面积（mm^2） K——系数（见表 1-17）
	绝缘铜线		I——绝缘铜线安全电流（A） A——铜绞线截面积（mm^2） K——系数（见表 1-18）
导线穿管		$I' = K'I$	I'——导线穿管时安全电流（A） I——导线安全电流（A） K'——系数（见表 1-19）
母线排	铝排	$I = Ka$	I——铝排安全电流（A） a——铝排宽度（mm） K——系数（见表 1-20）
	铜排	$I = 1.3Ka = 1.3I_{Al}$	I——铜排安全电流（A） a——铜排宽度（mm） K——系数（见表 1-20，采用铝排系数） I_{Al}——铝排载流量（A）

（续）

项　　目		公　　式	说　　明
母线排	钢排	$I = Kab$	I——钢排安全电流（A） a——钢排宽度（mm） b——钢排厚度（mm） K——系数（见表 1-21）

表 1-15　铝裸导线安全载流量速算系数

导线截面积/mm^2	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
系数 K	6.5	5	4.5	4	3.5	3		2.5		2	

表 1-16　铜裸导线安全载流量速算系数

导线截面积/mm^2	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
系数 K	8	6		5	4		3		2.5	

表 1-17　绝缘铝线安全载流量速算系数

导线截面积/mm^2	1	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120
系数 K	10			8	7	6	5	4		3		2	

表 1-18　绝缘铜线安全载流量速算系数

导线截面积/mm^2	1 1.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120
系数 K	14	11	9	8	7	6	5	4		3	

表 1-19　导线穿管安全载流量速算系数

导线穿管根数	2	3	4
系数 K'	0.8	0.7	0.6

表 1-20　铝排安全载流量速算系数

铝排厚度/mm	3	4	5	6	7	8	9	10
系数 K	10	12	13	14	15	16	17	18

表 1-21　钢排安全载流量速算系数

钢排宽/mm	30	40	40	50
钢排厚/mm	3		4	
系数 K	1		0.8	

1.5.2　电气设备速算公式

1．熔体选择速算（见表 1-22）

表 1-22　熔体选择速算

项　目		公　式	说　明
单台电动机		$I = 4P$	I——熔体电流（A） P——电动机功率（kW）
多台电动机		$I = 4P_{max}+2\Sigma P$	I——熔体电流（A） P_{max}——其中最大电动机的功率（kW） ΣP——其余电动机功率之和（kW）
三相电力变压器	低压侧	$I_D = I_{ND}$	I_D——低压侧熔体电流（A） I_{ND}——低压侧额定电流（A）
	高压侧	$I_G = 2I_{NG}$	I_G——高压侧熔体电流（A） I_{NG}——高压侧额定电流（A）
减压起动时笼型电动机		$I = 2.1P$	I——熔体电流（A） P——电动机功率（kW）
电焊机		$I = KI_N$	I——熔体电流（A） I_N——电焊机额定电流（A） K——系数（见表 1-23）
变流装置的快速熔断器		$I = 1.57I_N$	I——快速熔断器熔体的电流（A） I_N——晶闸管额定电流（A）
电容器		$I = 1.5I_N$	I——熔体电流（A） I_N——电容器额定电流（A）
晶闸管主电路熔断器		$I_R = (1.25\sim1.5)I = 1.38I$	I_R——快速熔断器额定电流（A） I——晶闸管额定电流平均值（A）

表 1-23　电焊机熔体选择系数

暂载率 ε	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25
系数 K	0.27	0.38	0.47	0.54	0.6
暂载率 ε	0.3	0.4	0.5	0.6	0.65
系数 K	0.66	0.76	0.85	0.93	0.97

【例题】有一台笼型三相异步电动机，功率为 40kW，电压为 380V，采用减压起动器进行起动，请速算其熔体电流是多少？

解：根据公式：

$$I = 2.1P = (2.1\times40)\text{A} = 84\text{A}$$

2．交流接触器及热继电器选择速算（见表 1-24）

表 1-24　交流接触器及热继电器选择速算

项　　目		公　　式	说　　明
交流接触器	电流	$I = (1.3\sim2)I_N$	I——交流接触器额定电流（A） I_N——电动机额定电流（A）
	线圈重绕	$N=\dfrac{45U}{BA}$	N——线圈匝数 U——工作电压（V） B——铁心磁通密度，一般取 1.1～1.4T，硅钢片含硅量较高或铁心温升较低时，可选较高值，反之选较低值 A——铁心截面积（cm^2）
热继电器		$I = KI_N$	I——热继电器额定电流（A） I_N——电动机额定电流（A） K——系数，选择热继电器时 $K = 1.2$，整定电流时 $K = 1.05$

【例题】有一台 Y112M-4 三相异步电动机，额定电压为 380V，额定电流为 8.8A，选择热继电器并速算整定电流是多少？

解：选择热继电器的电流，即

$$I = 1.2I_N = 1.2 \times 8.8A = 10.6A$$

选用 JR16-20/3D，其电流为 6.8～11A。

整定电流为

$$I = 1.05I_N = 1.05 \times 8.8A = 9.2A$$

3．电容器速算（见表 1-25）

表 1-25　电容器速算

项　　目	公　　式	说　　明
电容器无功容量	$Q_C=KC$	Q_C——无功功率（kvar） C——电容值（μF） K——系数（见表 1-26）
电容器放电电阻	$R \leqslant \frac{7.26}{Q_C} \times 10^5$	R——放电电阻（Ω） Q_C——电容器组总电容（kvar）

表 1-26　电容器无功容量速算系数

电压/kV	0.23	0.4	3.15	6.3	10.5
系数 K	0.017	0.05	3.1	12.5	34.6

【例题】某低压电容器组总容量为 400kvar，接入相电压为 0.22kV，问如何选用放电电阻？

解：根据公式

$$R \leqslant \frac{7.26}{Q_C} \times 10^5 = \frac{7.26}{400} \times 10^5 \Omega = 1815\Omega$$

实际运行中，选用两只 220V、60W 的白炽灯串联后的电阻值为

$$R = 2\frac{U^2}{P} = 2 \times \frac{220^2}{60}\Omega = 1614\Omega$$

可将两只 220V、60W 的白炽灯串联后，接成三角形作为放电电阻与电容器组并联即可满足要求。

4．补偿电容量速算（见表 1-27）

表 1-27　补偿电容量速算

项　目	公　式	说　明
电动机就地补偿电容量	$Q_C = KP$	Q_C——电容器容量（kvar） P——电动机功率（kW） K——系数（见表 1-28）
电动机就地补偿电容量	$Q_C = 0.66I_0$	Q_C——电容器容量（kvar） I_0——电动机空载电流（A）
三相用电设备应补偿电容量	$Q_C = KP$	Q_C——功率因数提高到 0.9 时，应补偿的电容量（kvar） P——三相用电量（kW） K——系数（见表 1-29）
无功就地补偿异步电动机功率因数	$\cos\varphi = (\cos\varphi_N)^{\frac{100}{\beta}}$	$\cos\varphi$——补偿前的功率因数 $\cos\varphi_N$——额定负载下的功率因数 β——电流负载率，$\beta = \frac{I}{I_N} \times 100\%$ I——运行电流（A） I_N——额定电流（A）

表 1-28　电动机就地补偿电容量速算系数

电动机极数	2	4～6	8	10
系数 K	0.25	0.3	0.4	0.5

表 1-29　三相用电设备应补偿电容量速算系数

功率因数 $\cos\varphi$	0.8	0.7	0.6	0.5
系数 K	0.25	0.5	0.86	1.25

【例题】某车间三相用电量为 1000kW，功率因数 $\cos\varphi = 0.8$，当将功率因数补偿到 0.9 时，应补偿电力电容器的容量是多少？

【解】根据公式

$$Q_C = KP = 0.4 \times 75\text{kvar} = 30\text{kvar}$$

1.5.3 电气负荷速算公式

1．单相负荷电流速算（见表 1-30）

表 1-30 单相负荷电流速算

项 目	公 式	说 明
单相 220V 负荷电流	$I = 4.5P$	I——负荷电流（A） P——用电设备功率（kW）
单相 380V 负荷电流	$I = 2.5P$	

2．三相负荷电流速算（见表 1-31）

表 1-31 三相负荷电流速算

项 目	公 式	说 明
三相异步电动机	$I = KP$	I——三相异步电动机的额定电流（A） P——电动机的功率（kW） K——系数（见表 1-32）
三相电热设备、电容器、变压器	$I = 1.5P$	I——额定电流（A） P——电热设备功率（kW）；电容器功率（kvar）；变压器功率（kV·A）
高压三相电动机	$I = KP$	I——电动机的额定电流（A） P——电动机的功率（kW） K——系数（见表 1-33）
高压三相用电设备	$I = KP$	I——用电设备电流（A） P——用电设备功率，对变压器单位为 kV·A，对电容器单位为 kvar K——系数（见表 1-34）
变压器有功损耗	$\Delta P_b = 0.02S_D$	ΔP_b——变压器的有功损耗（kW） ΔQ_b——变压器的无功损耗（kvar） S_D——变电所中变压器高压侧有功计算负荷（kW）
变压器无功损耗	$\Delta Q_b = 0.1S_D$	

表 1-32　三相异步电动机负荷电流速算系数

电压/V K 功率/kW	220	380
2 以下	4	2.5
大于 2	3.5	2

表 1-33　高压三相电动机负荷电流速算系数

电压/kV	3	6	10	35
系数 *K*	0.25	0.126	0.075	0.021

表 1-34　高压三相用电设备负荷电流速算系数

电压/kV	3	6	10	35
系数 *K*	0.2	0.1	0.06	0.017

3．照明线路负荷电流速算（见表 1-35）

表 1-35　照明线路负荷电流速算

项　目	公　式	说　明
白炽灯	$I = 0.0045P$	I——白炽灯电流（A） P——白炽灯功率（W）
荧光灯	$I = 0.009P$	I——荧光灯电流（A） P——荧光灯功率（W）

4．民用住宅用电负荷速算（见表 1-36）

表 1-36　民用住宅用电负荷速算

项　目	公　式	说　明
单位建筑面积法	$P=KA$	P——民用住宅用电负荷（W） A——民用住宅建筑面积（m^2） K——系数（见表 1-37）

（续）

项　　目	公　　式	说　　明
户为基准法	$P=KN$	P——民用住宅用电负荷 N——民用住宅户数 K——系数（见表1-38）
居民生活区配电变压器容量估算	$S=KA$	S——变压器容量（kV·A） A——建筑面积（km^2） K——系数（见表1-39）

表1-37　单位建筑面积法用电负荷速算系数

住宅档次	低	一般	中	高
系数 K	10	20	30	90

表1-38　户为基准法用电负荷速算系数

住宅档次	低	一般	中	高
系数 K	0.5	1	3	6

表1-39　居民生活区配电变压器容量估算系数

住宅档次	低	一般	中	高
系数 K	4	6	8	10

5．电压损失速算（见表1-40）

表1-40　电压损失速算

项　　目	公　　式	说　　明
三相380V线路	$\Delta U\%=\dfrac{M}{50A}$	$\Delta U\%$——线路电压损失的百分数 M——线路的负荷矩（kW·m）
单相220V线路	$\Delta U\%=\dfrac{M}{8.3A}$	A——导线截面积（mm^2） K——系数（见表1-41） 注：公式用于铝导线
功率因数为0.8时电压损失	$\Delta U\%=\dfrac{KM}{50A}$	

（续）

项　　目	公　　式	说　　明
铜线电压损失	$\Delta U_{CU}\% = \dfrac{\Delta U_{Al}\%}{1.7}$	$\Delta U_{CU}\%$——铜线电压损失 $\Delta U_{Al}\%$——铝线电压损失

表 1-41　铝导线电压损失速算系数

导线截面积/mm²	16　25	35　50	70　95	120　150	185　240
系数 K	1.2	1.4	1.6	1.8	2

6．工厂用电系统负荷速算（见表 1-42）

表 1-42　工厂用电系统负荷速算

项　　目	公　　式	说　　明
全厂负荷	$S = KP$	S——全厂容量（kV·A） P——全厂工艺装备容量（kW） K——系数（见表 1-43）
车间负荷	$I = KP$	I——车间负荷电流（A） P——车间用电设备容量（kW） K——系数（见表 1-44）
两个车间负荷	$I = 0.8(I_1+I_2)$	I——两个车间的总负荷电流（A） I_1——第一个车间的负荷电流（A） I_2——第二个车间的负荷电流（A）
一条干线负荷	$I = 2(I_{1max}+I_{2max})$	I——干线负荷电流（A） I_{1max}、I_{2max}——分别为容量最大的两台设备容量（A）
照明设备容量	$P_s = A\omega$	P_s——照明设备容量（kW） A——建筑物平面面积（m^2） ω——单位面积照明容量（W/m^2）（见表 1-45）

表 1-43　全厂负荷速算系数

负荷种类	冶金纺织	机械	其余
系数 K	1	0.5	0.7

表 1-44　车间负荷速算系数

负荷种类	冷床	热床	电热	其余
系数 K	0.5	0.75	1.2	1.5

表 1-45　单位建筑面积照明容量

房 间 名 称	功率指标/（W/m^2）	房 间 名 称	功率指标/（W/m^2）
金工车间	6	各种仓库（平均）	5
装配车间	9	生活间	8
工具修理车间	8	锅炉房	4
金属结构车间	10	机车库	8
焊接车间	8	汽车库	8
锻工车间	7	住宅	4
热处理车间	8	学校	5
铸钢车间	8	办公楼	5
铸铁车间	8	单身宿舍	4
木工车间	11	食堂	4
实验室	10	托儿所	5
煤气站	7	商店	5
压缩空气站	5	浴室	3

注：按白炽灯计算，仅供粗略速算时参考。

【例题】某纺织厂，工艺装备容量为 8500kW，计算全厂负荷是多少？

解：根据公式

$$S = KP = (1 \times 8500)\text{kV} \cdot \text{A} = 8500\text{kV} \cdot \text{A}$$

今天问答题



1．电流、电压、电感、电容、磁场、导体、半导体、绝缘体的概念是什么？

2．欧姆定律的计算式是什么？

3．现有长为 500m、截面积为 $25mm^2$ 的铝导线，请速算该导线的电阻是多少？

4．一条 220V、长为 80m、负荷为 6kW、截面积为 $15mm^2$ 的铝线，请计算该线路的电压损失是多少？

第 2 天

学习电工常用工器具的使用方法



上午（8:00～11:30）

2.1 学习便携式电工工器具的使用方法

2.1.1 钢丝钳

钢丝钳可以钳夹和弯绞导线头，其齿口可以用来紧固或起松螺母，刀口则可以用来剪切导线或剖切软导线绝缘层，铡切电线线芯和钢丝、铅丝等软硬金属，钢丝钳是由钳头、钳柄及钳柄绝缘柄套组成，如图 2-1 所示，其绝缘柄套可耐压 500V。



图 2-1 钢丝钳的结构图

钢丝钳的使用方法如图 2-2 所示。

2.1.2 尖嘴钳

尖嘴钳由钳头和钳柄组成，其头部细长成圆锥形，能在狭小的工作环境中夹持轻巧的工件或线材，也能剪切、弯折细导线，其外形如图 2-3 所示。其绝缘柄套的耐压等级为 500V。



图 2-2　钢丝钳的使用



图 2-3　尖嘴钳

尖嘴钳根据钳头的长度可分为短钳头（钳头为钳子全长的 1/5）和长钳头（钳头为钳子全长的 2/5）两种。常用的规格有 130mm、160mm、180mm、200mm 四种。

2.1.3　斜口钳

斜口钳又叫做断线钳，由钳头和钳柄等部分组成，由于剪切口与钳柄成一定角度，可以用于剪切较粗的导线或其他金属丝。特别是在比较狭小的设备内还可以用于剪切薄金属片、细金属丝或剖切导线的绝缘层等，其外形如图 2-4 所示。另外由于其绝缘柄套的耐压等级为 1000V，所以也能带电剪切导线。

2.1.4　剥线钳

剥线钳是由钳头和钳柄两部分组成的，而钳头又是由压线口和切口两部分组成的，它是电工剥削导线绝缘层的专用工具，其钳头的切口处分



布有直径为 0.5～3mm 的多个切口，能适应不同规格的导线，其外形如图 2-5 所示。在使用剥线钳时要注意切口不能小于被切导线的直径，以免剥伤线芯。

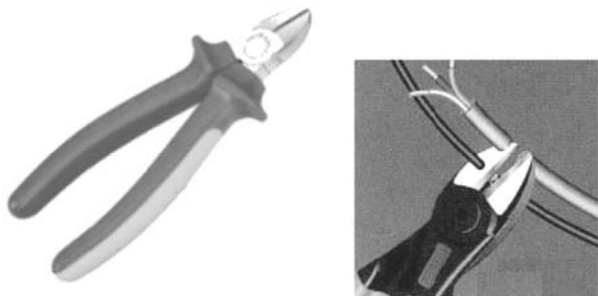


图 2-4　斜口钳



图 2-5　剥线钳

2.1.5　螺钉旋具

螺钉旋具又叫做螺丝刀、起子、改锥、旋凿，有十字形和一字形两种，是紧固和拆卸螺钉的工具，如图 2-6 所示。使用螺钉旋具时一定要选择与螺钉规格合适的刀口，否则会损坏螺钉或电器元件，电工使用的螺钉旋具必须带有完整的绝缘套管，握住螺钉旋具手柄时不得触及金属部分，在木制品上固定元件时，应先用螺钉旋具在木制品上扎眼，再用螺钉旋具拧入螺钉，不能将螺钉打入木制品后再用螺钉旋具拧紧。



图 2-6　螺钉旋具

2.1.6　电工刀

电工刀是一种剖削导线线头、削制木榫的电工常用工具，使用电工刀时，刀口应朝外，刀面与导线应成较小的锐角。由于电工刀柄没有绝缘保护，不能在带电导线上使用。电工刀不许代替手锤敲击使用。用完后，应立即将刀身折入刀柄内，如图 2-7 所示。

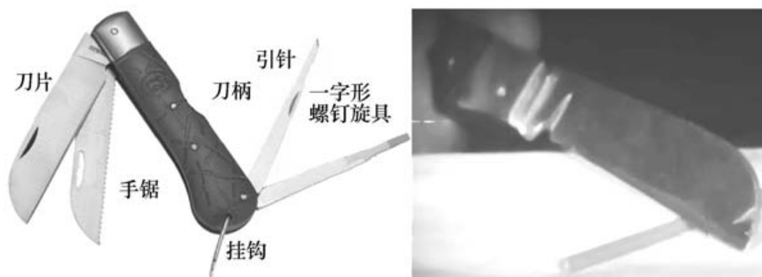


图 2-7　电工刀

电工刀的刀刃部分要磨得锋利才好剥削电线，但不可太锋利，太锋利容易削伤线芯，如果磨得太钝，则无法剥削绝缘层。磨电工刀刃一般采用磨刀石或油磨石，磨好后再把底部磨点倒角，即刃口略微圆一些。双芯护套线的外层绝缘的剥削可以用刀刃对准两芯线的中间部位，把导线一剖为二。



2.1.7 钢锯

钢锯又叫做手锯，是电工常用来切割电线管的工具，如图 2-8 所示。

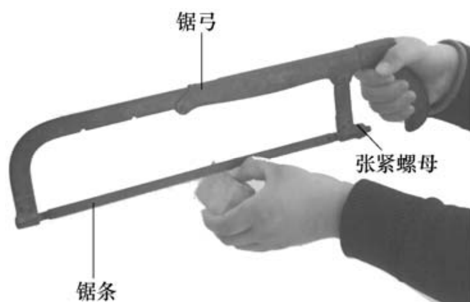


图 2-8 钢锯

锯弓是用来张紧锯条的，分为固定式和可调式两种，常用的是可调式。锯条根据锯齿的牙距大小，分为粗齿、中齿和细齿三种，常用的规格为 30mm。锯条应根据所锯材料的软硬、厚薄来选用。一般情况下，粗齿锯条可用来锯割软材料或锯缝长的工件，细齿锯条可用来锯割硬材料、薄板料及角铁。锯条的安装可按加工需要，将锯条装成直向的或横向的，且锯齿的齿尖方向要向前，不能反装。锯条的绷紧程度要适当，若过紧，锯条会因受力而失去弹性，锯割时稍有弯曲，就会崩断；若安装过松，锯割不但容易弯曲造成折断，而且锯缝也易歪斜。

2.1.8 手锤

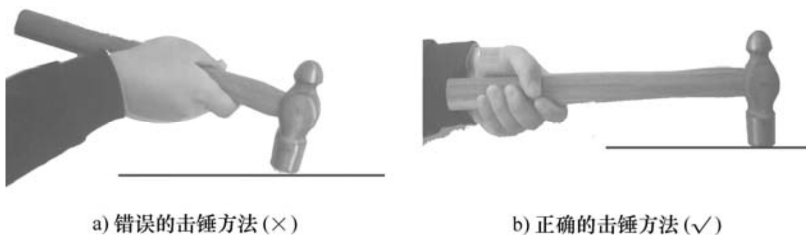
手锤是由锤头、锤柄和楔子组成，其外形如图 2-9 所示。手锤的规格以锤头的重量来区分，常用的有 0.25kg、0.5kg 和 1.0kg 等几种。手锤的锤柄一般是用比较坚韧的木材制成的，长度一般在 300～350mm 之间。为了防止锤头脱落，一般都要将带有倒刺的斜楔打入锤柄顶端。而且无论哪一种规格的手锤，锤头孔都要做成椭圆形，而且孔的两端都比中间大，成凹鼓形，这样做的目的就是为了装紧锤柄。

使用手锤时，为了锤击有力，应握在手柄的末端。锤击时应对准工件，并使锤头整个表面与其接触，以免损坏锤面和工件（见图 2-10）。

手锤的握法有紧握和松握两种，如图 2-11 所示。

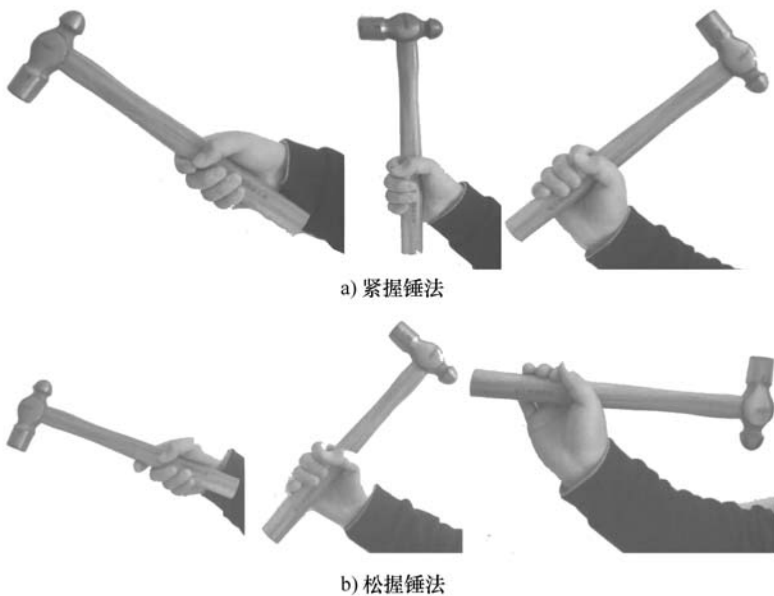


图 2-9　手锤



a) 错误的击锤方法（×）　　b) 正确的击锤方法（√）

图 2-10　手锤的使用



a) 紧握锤法

b) 松握锤法

图 2-11　手锤握法



挥锤的方法有腕挥、肘挥和臂挥三种。腕挥是依靠手腕的动作进行锤击，采用紧握法握锤；肘挥是依靠手腕和肘部一起挥动，要采用松握法握锤，锤击力较大；臂挥是手腕、肘部和全臂一起挥动，锤击力最大，如图 2-12 所示。



图 2-12　挥锤的方法

2.1.9　扳手

扳手是一种用来紧固或起松螺栓的工具。其中活络扳手由头部和柄部组成，头部又是由活扳唇、呆扳唇、扳口、蜗轮和轴销等组成，如图 2-13 所示。

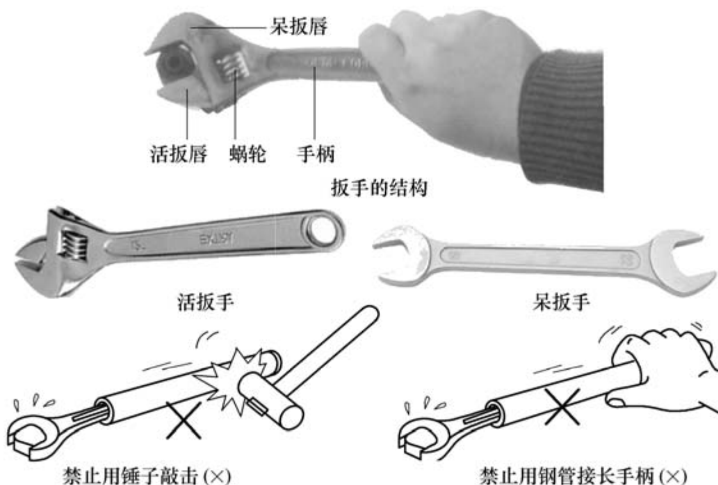


图 2-13　扳手及其使用

在使用活扳手时，应将扳唇压紧螺栓的平面。扳动大螺母时，手应握在接近柄尾处。扳动较小的螺栓时，手应握在接近头部的位置。用力时手指要随时旋调蜗轮，收紧活扳唇，以防止打滑。活络扳手不能反用，以免损坏活扳唇，更不可用钢管接长手柄施加较大的力矩。另外，活扳手也不能当撬棍或手锤使用。在扳动生锈的螺母时，可在螺母上滴几滴煤油或机油，这样就容易拧动了。

2.1.10　电工凿

电工凿如图 2-14 所示，主要用于在混凝土结构上凿孔，以便埋设木榫、角钢支架等。



图 2-14　电工凿

2.1.11　电工工具包和工具夹

电工工具包是用来装安装器材的背包，大多是用帆布制成的，一般要斜挎在肩上。而电工工具夹是用来随身携带钳子、扳手、螺钉旋具等工具的，大多是用皮革制成的，使用时要佩挂在背后右侧的腰带上，以便于随手取用和归放工具。电工工具包和工具夹如图 2-15 所示。



图 2-15　电工工具包和工具夹



2.2 学习设备安装工具的使用方法

2.2.1 紧线器

紧线器又叫做紧线钳、拉线钳等，如图 2-16 所示。紧线器是用来收紧户内外绝缘子线路和户外架空线路导线的工具。

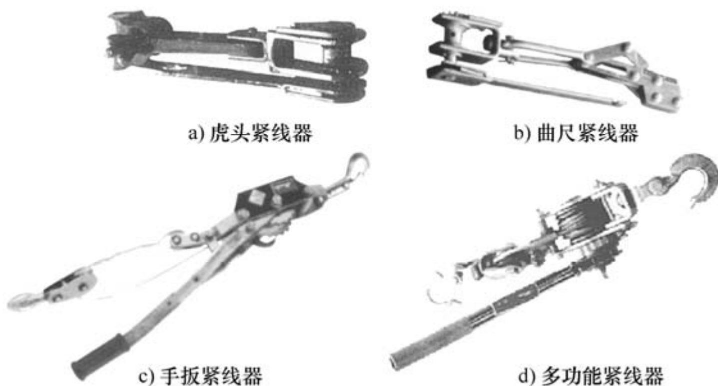


图 2-16 紧线器

紧线器的使用如图 2-17 所示，方法如下：

1）紧线器使用时先把紧线器上的钢丝绳或镀锌铁线松开，并固定在横担上。

2）用夹线钳夹住导线，然后扳动专用扳手。由于棘爪的防逆转作用，逐渐把钢丝绳或镀锌铁线绕在棘轮滚筒上，使导线收紧。

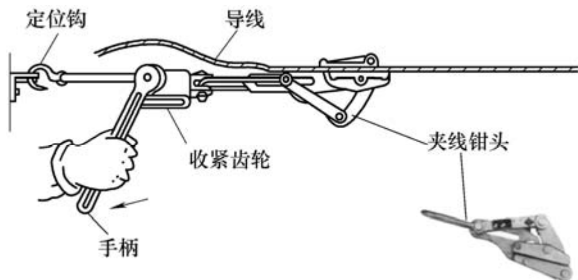


图 2-17 紧线器的使用

2.2.2　压接钳

压接钳具有操作方便、连接良好等特点，是连接导线或端子的必备工具，常用的压接钳有液压式和机械式两种，如图 2-18 所示。

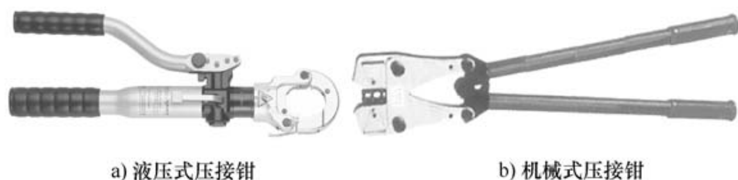


图 2-18　压接钳

压接钳的使用方法如图 2-19 所示，操作步骤如下：

1）清除导线连接部位的污垢，用汽油洗净，再抹上中性凡士林油。选用与导线规格相应的接线管，并检查其有无缺陷，然后用汽油洗净，并画好压点位置（见图 2-19 第①～④步）。

2）将导线和衬垫插入连接管内，衬垫应在两线之间，导线各露出管口 20mm 为宜（见图 2-19 第⑤步）。

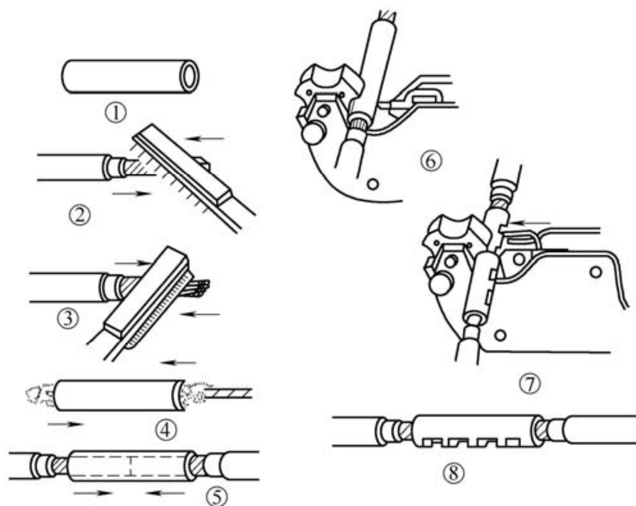


图 2-19　压接钳的使用



3）按导线规格选择合适的压模装在钳口上，并将插入导线的连接管放在压模口内启动压接钳，按规定的顺序和标定位置压挤导线，压后应停留 30s，直到压完。在压第一模时应检查其凹深程度，合格后再压。另外，压接钳的压模分铝绞线、铜绞线和钢芯铝绞线三种，规格与导线对应，要选择正确（见图 2-19 第⑥～⑧步）。

4）压好后要清除飞边、毛刺，然后在连接管处抹防锈漆。管口部位不要有损伤，不合格时要锯断重新压接。

2.2.3　电烙铁

电工常用的电烙铁分为内热式和外热式两种，如图 2-20 所示。



图 2-20　电烙铁

内热式电烙铁体积较小，而且价格便宜。一般电子制作都用 20～30W 的内热式电烙铁。内热式电烙铁发热效率较高，而且更换烙铁头也较方便。

外热式电烙铁因发热电阻在电烙铁的外面而得名。它既适合于焊接大型的元器件，也适用于焊接小型的元器件。由于发热电阻丝在烙铁头的外面，有大部分的热散发到外部空间，所以加热效率低，加热速度较缓慢。一般要预热 6～7min 才能焊接。其体积较大，焊接小型元器件时显得不方便。但它有烙铁头使用时间较长、功率较大的优点，有 25W、30W、50W、75W、100W、150W、300W 等多种规格。大功率的电烙铁通常是外热式的。

1．电烙铁常用的锡焊料

1）焊料：焊料是指焊锡或纯锡，常用的有条状和丝状两种，如图 2-21 所示。丝状焊料称为焊锡条，通常在其中心包有松香，使用较方便。

2）焊剂：常用的焊剂有松香、松香酒精溶剂、焊膏和盐酸等几种。松香适用于所有电子元器件和小线径线头的焊接；松香酒精溶液适用于小线径线头的焊接和大截面导体表面或连接处的加固搪锡；盐酸则适用于钢制件连接处表面搪锡或钢制件的连接焊接。


a) 条状　　b) 丝状

图 2-21　焊料

2．电烙铁的使用方法

1）焊接前先用电工刀或砂纸、钢锉等将被焊工件的焊接处打磨干净，然后涂上钎焊剂。

2）插上电源使电烙铁预热 5～10min 后，再将含有焊锡的烙铁头先沾一些焊剂，然后对准焊点下焊，烙铁头的停留时间随焊件的大小而定。

3）焊点必须焊牢焊透，锡液必须充分渗透，焊接处表面应光滑并有光泽，不能有虚假焊点或夹生焊点。虚假焊就是焊件表面没有充分镀上锡，焊件之间没有被锡固定住，造成这种现象的主要原因是由于工件表面的氧化层没有清除干净或焊剂用得过少。夹生焊就是锡并未完全熔化，焊件表面的焊晶粗糙，焊点强度很低，造成这种现象的主要原因是电烙铁温度不够或烙铁头在焊点停留的时间过短。

4）电烙铁在使用过程中要轻拿轻放，不得敲击，以免损坏内部发热元件。

5）使用中的电烙铁不能任意乱放，建议使用专门的电烙铁支架，如图 2-22 所示，并应远离易燃易爆的物体，以防引起火灾。



图 2-22　电烙铁支架



6）烙铁头应经常保持清洁，使用中可常在石棉毡上擦几下以除去氧化层。电烙铁使用久了，烙铁头表面可能出现不能上锡（“烧死”）现象，此时可把电烙铁加热至适当温度，在专用的电烙铁专用清洁海绵（见图 2-23）上反复擦拭，直至除去氧化层。不建议直接用刮刀去刮锡焊以防刮伤烙铁头的防氧化层，这样做会导致烙铁头损坏。



图 2-23　电烙铁专用清洁海绵

2.2.4　手电钻

手电钻是一种应用最广泛的电动工具，有交流电源供电和直流电源供电两种，其外形和结构如图 2-24 所示。

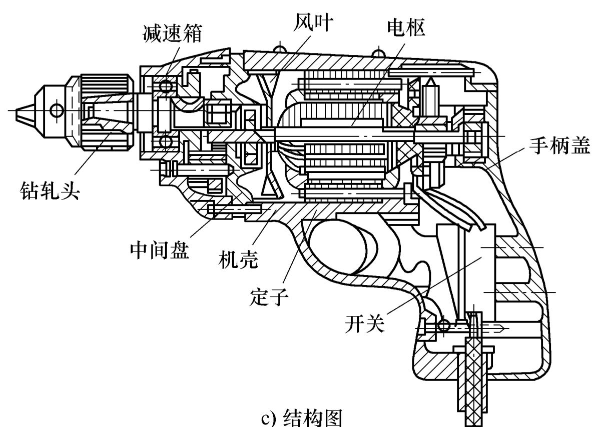


a) 直流电源供电手电钻



b) 交流电源供电手电钻

图 2-24　手电钻外形和结构



c) 结构图

图 2-24　手电钻外形和结构（续）

2.2.5　绞杠及板牙

绞杠及板牙主要用于钢电线管套螺纹以便于钢电线管的连接，是电工常用的设备安装工具之一，如图 2-25 所示。



图 2-25　绞杠及板牙

钢电线管用绞杠及板牙套螺纹的方法如图 2-26 所示。



第①步，选择匹配的板牙并正确安装

图 2-26　套螺纹的方法





第②步，开始套螺纹时一只手向下施加压力，慢慢转动绞杠



第③步，切入1～2圈后检查垂直度



第④步，加入润滑液



第⑤步，匀速转动绞杠套出螺纹

图2-26　套螺纹的方法（续）

2.2.6　喷灯

喷灯的结构如图 2-27 所示，它能达到 1000℃的高温，是火焰钎焊的热源。常用来焊接铅包电缆的铅包层，大截面铜导线连接处的搪锡，以及其他电连接表面的防氧化镀锡等。



图 2-27　喷灯

喷灯的使用方法如下：

1）首先检查喷灯是否完整，有无缺陷，能否正常使用。

2）给喷灯注油至 2/3 处并拧紧加油孔螺栓。

3）在预热盘中倒入少量油，并用棉丝蘸油后置于盘中点火预热 3min。

4）打气 5 次左右，慢慢松开放油调节阀喷油雾点火，再次打气，并调整火焰至需要大小，火焰过大或过小都会影响焊接质量。并应防止喷灯烧坏工件的绝缘部分，如有需要应采取必要的隔热措施，如垫石棉纸或裹上耐火泥等。

5）喷灯用完后应先关紧放油调节阀，火熄灭后才能缓慢地松开加油孔螺栓放气。

6）将喷灯擦拭干净后，放在工具匣中以备下次使用。

2.2.7　射钉枪

使用射钉枪（又称射钉器）在墙上安装电能表箱或其他电气设备时



很方便，射钉枪是利用发射空包弹产生的火药燃气作为动力，将射钉打入建筑体的一种很方便的设备安装工具，其外形如图 2-28 所示。发射射钉的空包弹与普通军用空包弹只是在大小上有所区别，对人同样有伤害作用，所以使用时应注意安全。



图 2-28　射钉枪

射钉枪所用的射钉直径多为 3.9mm、尾部螺纹有 M4、M6、M8 等几种，弹药也有弱、中、强三种。

射钉枪的使用方法如下：

1）根据被固定件的重量以及构件（建筑物、钢板等）的强度选择子弹、射钉，可根据表 2-1 选取。

表 2-1　射钉枪器弹的选择规格

构件性质	射钉规格（螺纹/mm）×（钉体长/mm）	备注
坚实砖墙	10×30	内外有螺纹，内螺纹 M4
坚实砖墙	50×40	配有垫片
坚实砖墙	30×40	配有垫片
中强度混凝土	20×30	
钢板	20×20	

2）射钉枪的操作分为装弹、击发和退弹三个步骤，都要按照说明书进行操作。

3）射钉枪应垂直于工作面后才能扣动扳机。

4）不能在凹凸不平或易碎的物体上使用射钉枪。射钉枪严禁对人射击，被作业面的后面也严禁站人。

2.3　学习安全工器具的使用方法

2.3.1　安全帽

安全帽是对人体头部进行防护的重要安全用具（见图 2-29）。在佩戴安全帽前，要先对安全帽进行必要的外观检查：看看安全帽有无变形或裂纹，安全帽内的帽衬组件是否完备、整齐、牢固等。

安全帽的试验项目、周期和要求可按表 2-2 进行。

表 2-2　安全帽的试验项目、周期和要求

试验项目	试验周期	试验要求	备注
耐穿刺性能试验	每年一次	钢锥不接触头模表面	塑料帽的最长试验周期不能≤2.5年，玻璃钢帽不能≤3.5年
冲击性能试验	每年一次	冲击力<4900N	

工作人员进入施工现场前一定要佩戴合格的安全帽，有的人喜欢把安全帽当做小板凳坐在地上休息，这是绝对不允许的！

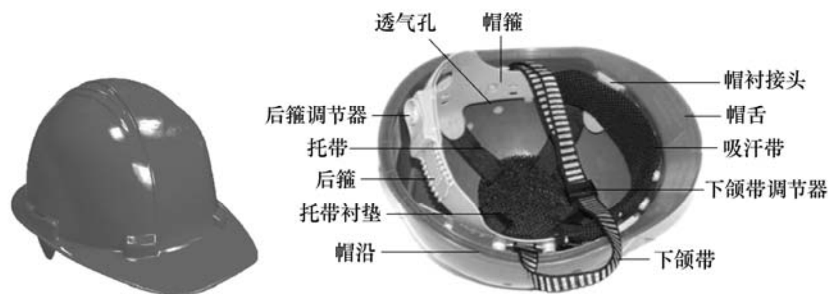


图 2-29　安全帽

2.3.2　绝缘手套

绝缘手套一般用橡胶、乳胶、塑料等材料做成，质地柔软、耐曲挠，有足够的长度，至少超过手腕 100mm，使用时应穿束口衣服，并将袖口伸到手套内。使用时手应保持干燥及干净，应避免与锋利尖刃物及污物接触，以免损伤其绝缘能力，如图 2-30 所示。应该注意的是，不能用医疗、



化学用的手套代替绝缘手套，也不能把绝缘手套用作其他用途。



图 2-30　绝缘手套

绝缘手套是在高压电气设备上操作时的辅助安全用具，也是在低压设备的带电部分工作时的基本安全用具。根据规程要求，绝缘手套必须定期检查并作交流耐压试验和泄漏电流试验。

2.3.3　绝缘靴

绝缘靴（见图 2-31）是用特种橡胶制成的，里面有衬布，通常不上漆。普通水靴是达不到绝缘靴的绝缘水平的，所以不能用普通水靴代替绝缘靴。



a) 短筒绝缘靴　b) 长筒绝缘靴　c) 布面电工绝缘鞋

图 2-31　绝缘靴

绝缘靴按其绝缘水平可划分为三种：

1）20kV 短筒绝缘靴是一种胶面胶靴，多为黑色，在 1～22kV 高压范围内作为辅助安全用具，不能触及高压带电体；对 1kV 以下可作为基本安全用具，同时穿靴后人体各个部位不能触及带电体（见图 2-31a）。

2）6kV 矿用绝缘靴是一种胶面胶靴，多为黑色，是适用于矿山井下操作 66kV 及以下电器的辅助安全用具，同时也能防跨步电压触电（见图 2-31b）。

3）5kV 布面电工绝缘鞋一般为军绿色，适用于电工 1kV 及以下作业。在室外也能防跨步电压触电，1kV 以上严禁使用。

使用绝缘靴要注意以下几点：

1）绝缘靴不能在下雨天当做水靴、胶鞋使用。若发现绝缘靴受潮或磨损严重，严禁使用。

2）绝缘靴是在电气设备上工作时用来与地绝缘的辅助安全用具，也是防止跨步电压触电的基本安全用具，它选用特种橡胶制成。

3）绝缘靴要存放在柜子里，并应与其他工具分开放置。绝缘靴应半年定期试验一次，保证绝缘良好。

2.3.4　绝缘垫

绝缘垫又叫做绝缘胶板、绝缘板，一般是由橡胶制成，厚度不能小于 5mm，表面有防滑条纹，如图 2-32 所示，绝缘垫的最小尺寸不能小于 0.8m×0.8m，绝缘垫一般铺设在配电装置周围，以加强操作人员对地的绝缘，防止接触电压及跨步电压。

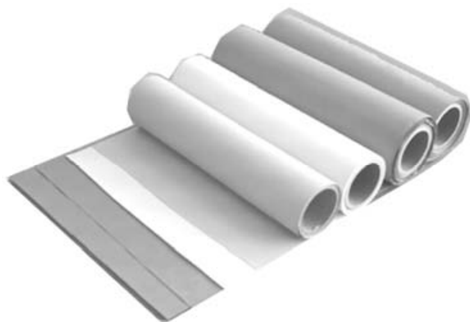


图 2-32　绝缘垫

在 1～220kV 之间的电气作业时，绝缘垫可作为辅助安全用具，但不能触及带电体；在 1000V 以下的电气作业中，绝缘垫则可以作为基本安全用具，能接触有电设备。

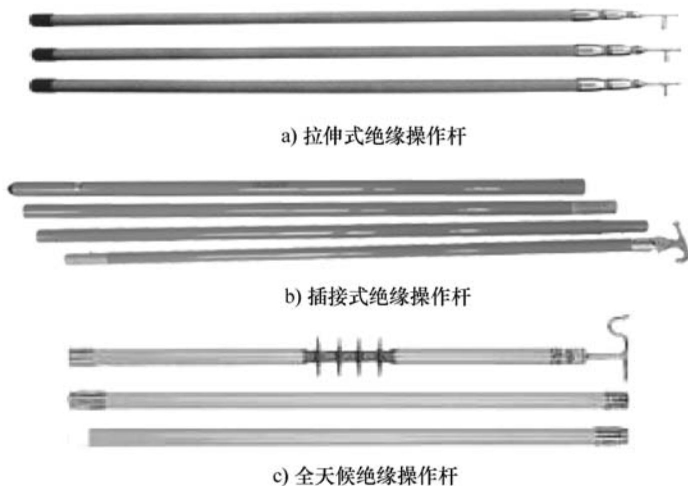


绝缘垫必须放在干燥的地方，要长期保持清洁。一旦发现绝缘垫有破损等情况时应立即停止使用。

2.3.5 绝缘操作杆

绝缘操作杆是电力工作人员最常用的安全工具之一，它又叫做绝缘杆、绝缘棒或拉闸杆等，一般是用浸过漆的优良木材、电木、胶木、塑料、环氧玻璃布棒、环氧玻璃管制成。

绝缘操作杆为了携带方便，一般都制成分段式，段与段之间用螺纹连接，有的连接处镶有金属螺纹，有的则做成套筒式，使用时接上或拉出即可，如图 2-33 所示。



a) 拉伸式绝缘操作杆

b) 插接式绝缘操作杆

c) 全天候绝缘操作杆

图 2-33 绝缘操作杆

从构造上来看，绝缘操作杆包括工作部分、绝缘部分和握手部分。其中工作部分大多是由铜、铸钢、铝合金等金属材料制成，根据需要可以做成不同的形状，装在操作杆的顶端。要注意的是，工作部分的金属钩，在满足需要的情况下，应尽量做得短一些，以免在操作时造成接地或相间短路，工作部分的长度，一般为 50～80mm；绝缘操作杆的握手部分和绝缘部分的构造是相同的，连接部分有明显的界限，有的则装有隔离环。绝缘操作杆的绝缘部分应光滑无裂纹、无机械损伤，长度不应小于表 2-3 中的规定。

表 2-3　绝缘操作杆和绝缘夹钳的最小长度

类　　型		户内设备用/m		架空线路及户外设备用/m	
		绝缘部分	握手部分	绝缘部分	握手部分
10kV 及以下	绝缘杆	0.70	0.30	1.10	0.40
	绝缘夹钳	0.45	0.15	0.75	0.20
35kV 及以下	绝缘杆	1.10	0.40	1.40	0.60
	绝缘夹钳	0.75	0.20	1.20	0.20

绝缘操作杆主要用于操作高压隔离开关和跌落式熔断器的分合、安装和拆除临时接地线、放电操作、处理带电体上的异物，以及进行高压测量、试验、直接与带电体接触的操作等各项作业。

绝缘操作杆的使用方法如下：

1）在使用绝缘操作杆前应进行外观检查，表面应无裂纹、划痕、毛刺、孔洞、断裂及机械损伤，并应用干净的棉布将绝缘操作杆擦拭干净。

2）使用绝缘操作杆时，必须戴上相应电压等级的绝缘手套，穿上相应电压等级的绝缘靴，必要时还要站在绝缘垫上进行操作，有时也可以戴上护目镜。雨雪天气操作室外高压电器时，绝缘操作杆上应装有防雨雪的伞形罩。

3）电压等级低的绝缘操作杆不能操作高一级电压的电器，但能操作低一级的。使用绝缘操作杆时应有专人监护。

4）绝缘操作杆用完后，应放置在便于取用的地方，并注意防潮，应垂直存放，放在木架上或吊挂在室内，不能接触墙壁，以免受潮破坏绝缘。

2.3.6　绝缘钳

绝缘钳如图 2-34 所示，是由电木、胶木或经亚麻仁油浸煮过的优质木材制成的。主要是用来夹持高压熔断器，以便安装或取下。



图 2-34　绝缘钳



使用绝缘钳操作时要佩戴护目镜、绝缘手套，穿绝缘靴或站在绝缘垫上，精神集中，注意保持身体平衡，握紧绝缘钳，不能使夹持物滑脱落下；在潮湿的雨雪天气情况下使用时，应使用专门的防雨绝缘钳；绝缘钳一般不重，适用于一人操作使用，使用时，不能在绝缘钳上装设接地线，以免接地线在空中悬荡，碰触带电部分造成接地短路或人身触电事故。绝缘钳使用完毕后，应保存在专用的箱子里或匣子里，以免受潮和碰损。

2.3.7　标示牌

标示牌是一种安全标志设施，是指用来警告人们不得接近设备和带电部分，指示为工作人员准备的工作地点，提醒采取安全措施，以及禁止某设备或某段线路合闸通电的通告示牌，如图 2-35 所示。悬挂标示牌的目的是为了提醒作业人员和有关工作人员及时纠正将要进行的错误操作或动作，指出正确的工作地点，警告他们不能接近带电部分，提醒他们采取适当的安全措施，或者禁止向有人工作的地点送电。标示牌宜用绝缘材料制作，其式样应符合安全规程的要求（见表 2-4）。布置标示牌的数目和地点应根据具体条件和安全工作的要求来决定。



图 2-35　安全用电标示牌

表 2-4　标示牌式样

名　称	悬挂处所	式　样		
		尺寸/（mm×mm）	颜色	字样
禁止合闸，有人工作！	一经合闸就能送电到操作施工设施的开关操作把手上	200×100 和 80×50	白底	红字
禁止合闸，线路有人工作！	线路开关和隔离开关把手上	200×100 和 85×50	红底	白字

（续）

名　称	悬 挂 处 所	式　样		
		尺寸/（mm×mm）	颜色	字样
在此工作！	室外和室内工作地点或施工设备上	250×250	绿底，中有直径为 210mm 的白圆圈	黑字，写入白圆圈中
止步，高压危险！	施工地点邻近带电设备的遮栏上；室外工作地点的围栏上；禁止通行的过道上；高压试验地点；室外构架上；工作地点邻近带电设备的横梁上	250×200	白底红边	黑字，有红色电符号
禁止攀登，高压危险！	工作人员或其他人员上下的铁架、铁塔和台上	250×200	白底红边	黑字

2.3.8　遮栏

遮栏是防护工作人员误碰或接近带电部分的安全用具，有固定遮栏和临时遮栏两种，如图 2-36 所示。固定遮栏常用金属件焊接而成；临时遮栏可用干燥木材制成。临时检修用遮栏也可用绳子代替。遮栏的高度，一般户外不能低于 1.5m，户内不能低于 1.2m，下脚边缘离地面不应超过 0.1m，栏条间净距离不大于 0.1m。遮栏上必须悬挂必要的标示牌。

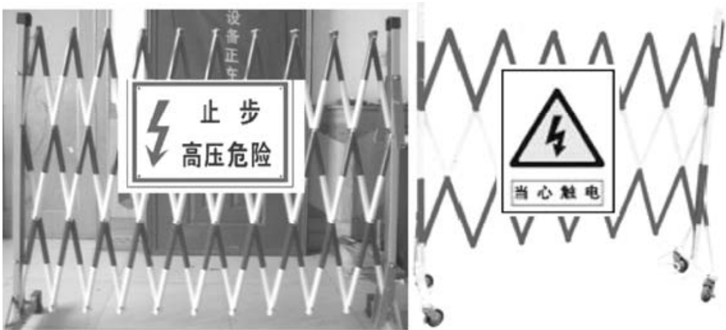


图 2-36　防护遮栏





下午（13:00 ~ 17:30）

2.4　学习电工常用仪表的使用方法

2.4.1　验电笔

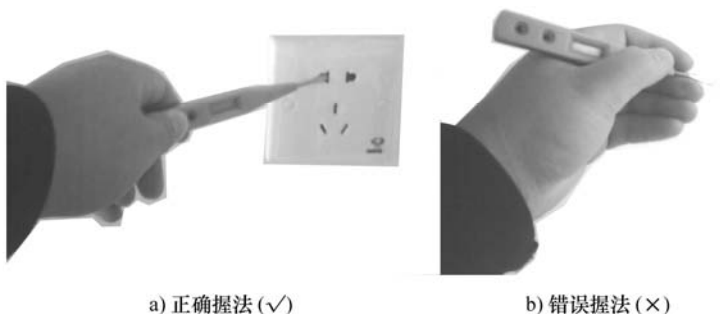
验电笔是电工必备的工具之一，是用来检验导线和电气设备是否带电的工具，为了便于携带和使用，低压验电笔往往会被做成笔形，因此被称为验电笔，也叫做测电笔，如图 2-37 所示。



a) 氖管发光指示式　　b) 数字显示式

图 2-37　低压验电笔

目前使用的低压验电笔主要有氖管发光指示式和数字显示式两种，验电笔的使用必须正确，否则可能会造成触电事故，如图 2-38 所示。



a) 正确握法 (√)　　b) 错误握法 (×)

图 2-38　低压验电器的握法

在使用氖管发光指示式验电笔时，要用食指触及笔尾的金属体，笔尖触及被测物体，使氖管小窗背光朝向自己。当被测物体带电时，验电流经电笔、人体导向大地形成通电回路。带电体与大地之间的电位差超过

60V，验电笔中的氖管就会发光，电压高发光强，电压低发光弱。

在使用数字式验电笔验电时，其握笔方法与氖管指示式验电笔相同，并且电位差在 12～500V 之间时，验电笔就能显示出来。

2.4.2　万用表

万用表又叫做多用表、复用表，是一种多功能、多量程的测量仪表，现在的万用表有指针式和数字式两大类。

1．指针式万用表

指针式万用表（见图 2-39）的最大好处是能够直观地看到被测量的变化过程和状况，而且功能可靠，价格较低。

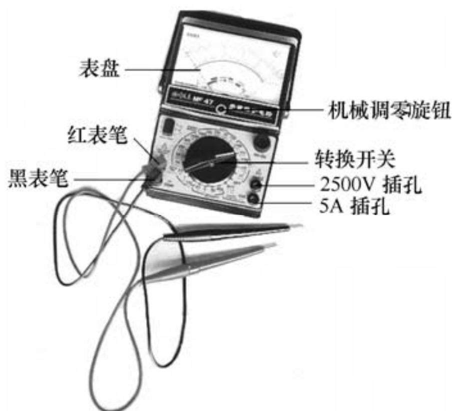


图 2-39　指针式万用表

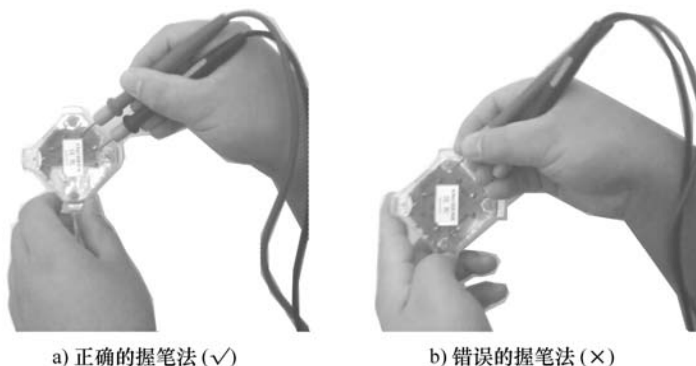
指针式万用表大多是由指示部分、测量电路、转换装置三部分组成的。使用前，应认真阅读使用说明书，熟悉万用表表盘，了解表盘上每条刻度线所对应的测量值含义。

在使用万用表前应对插孔和指针进行必要的检查。首先将红表笔插头插入“+”孔内，黑表笔插入“−”孔内，并将万用表置于 R×1 档，短接两表笔，测试两表笔是否断路（因为断路时指针不动）。然后再用机械调零钮将指针调零，最后检查电池是否还能继续使用。

在使用万用表测量时，要用右手握住两支表笔，手指不能触及表笔的金属部分和被测元器件，正确的握笔方法如图 2-40a 所示，而图 2-40b



所示的握笔方法是错误的。



a) 正确的握笔法（√）　　b) 错误的握笔法（×）

图 2-40　万用表的握笔方法

在使用万用表测量时，禁止在被测件通电测量的状态下转动量程开关，如在测量电压、电流时，不切断电源就改变万用表量程是不允许的，因为在带电情况下转动量程开关，会产生电弧，使开关触点损坏。这一点一定要注意，因为在实际工作中，一些人会为了图省事而进行这种错误的操作。

当能够熟练使用万用表后，就要逐渐养成单手操作的习惯，因为如果是双手操作，一旦手触及带电部分，就会在两手间形成电压而产生电流，使人触电。

另外，万用表的极性不要接错，用指针式万用表测量直流电压、直流电流时，一定要将红表笔接电路中的高电位，黑表笔接低电位。如果接反，万用表指针会向反方向偏转，无法进行测量，严重时可能损坏万用表。

使用指针式万用表测量前，一定要对被测量进行一次大体的估算，然后选择一个合适的档位。如果无法估计被测量的大小，就要从最大档开始测量。一定要避免因被测量过大而使指针迅速向右偏转，把指针碰弯或烧坏万用表。

万用表不用时，要将转换开关拨到大电压档，这样既能减小电池损耗，还能防止下次使用时，因忘记转换档位而损坏万用表。如果长期不用万用表，最好将电池取出来保存。

指针式万用表的使用方法如下：

（1）电流的测量

用指针式万用表测量电流时，表笔应与被测线路（或设备）串联，并根据被测量的大小选择合适的档位。但是一般的指针式万用表电流档的量程往往只有 500mA，所以测量大电流时就需要安装一些辅助设备来扩大电流表的量程。

测量直流电流时，如图 2-41 所示，红表笔与断点处的正极性相连，黑表笔与断点处的负极性相连。测量交流电流时，如图 2-42 所示，在测量交直流电流时不能在通电的情况下转换档位。

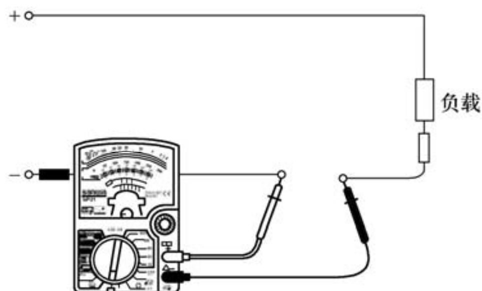


图 2-41　直流电流的测量

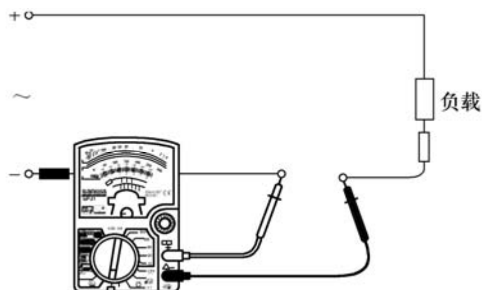


图 2-42　交流电流的测量

（2）电压的测量

用指针式万用表测量电压时，表笔应与被测线路（或设备）并联，并根据被测量的大小选择合适的档位。

直流电压的测量如图 2-43 所示，先将转换开关旋到“V”档，测量



时，黑表笔应与电源的负极相触，红表笔应与电源的正极相触，两者不可颠倒。如果一时分不清电源的正负极，则可以选用一个较大量程的测量档，将两支表笔快触一下测量点，观察指针的指向，找出被测电压的正负极。

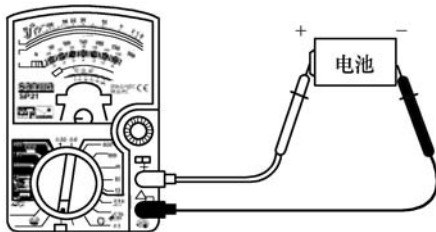
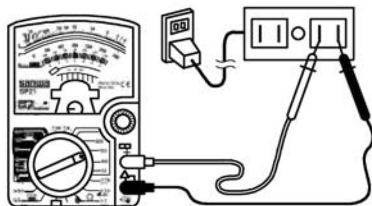


图 2-43　直流电压的测量

交流电压的测量如图 2-44 所示，测量前，先将转换开关旋到标有“V̰”符号处，并将开关置于适当量程档，然后手握黑表笔和红表笔的绝缘部位，先用黑表笔触及一相带电体，再用红表笔触及另一相带电体或中性线，读取电压读数后，使两支表笔脱离带电体。


图 2-44　交流电压的测量

（3）电阻的测量

使用万用表测量电阻时，要先选择合适的档位，一般万用表设有R×1、R×10、R×100、R×1k 和 R×10k 等几个档位，只要将转换开关拨至某一需要的档位就可以了。

调零是使用万用表的欧姆档不可缺少的步骤，否则会使测量误差增大。调零的方法是先将万用表的黑、红表笔短接，然后调节万用表的调零旋钮，使表针指示在欧姆刻度线的 0Ω 位置上。当改变量程时，要重新调零。万用表的调零要快速，否则会消耗过多的表内电池能量。如果指针总是在 0Ω 线的左侧，这说明表内的电池电压已较低，最好更换新电池，然

后再次调零。

使用指针式万用表测量电阻的方法如图 2-45 所示，测量时只要将万用表红、黑两表笔接触被测元器件的两端点就可以了。

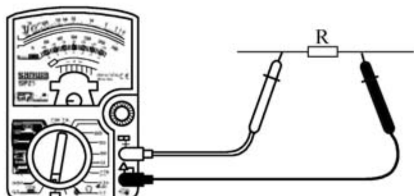


图 2-45　电阻的测量

万用表指针在欧姆刻度线上的读数与使用的量程倍率的乘积就是被测的电阻值。例如，测量某电阻值时，万用表指针示数为 12，量程倍率是 R×1，那么这个电阻的阻值就是 12Ω；在量程倍率为 R×1k 时测得的指示数为 8，那么这个电阻的阻值为 8kΩ。

在读数时，还有一点应该注意，由于欧姆刻度线的刻度不是均匀的，所以每一个小格所表示的数值也是不一样的。

2．数字式万用表

数字式万用表具有用途多、量程广、使用方便等优点，是电子测量中使用最多的工具之一。它不仅可以用来测量被测量物体的电阻，还可以测量交直流电压，甚至有的万用表还可以测量晶体管的主要参数以及电容器的电容量等。充分熟练掌握万用表的使用方法是电子技术的最基本技能之一，图 2-46 所示是常用的数字式万用表外形。



图 2-46　数字式万用表

虽然数字式万用表的种类很多，但其控制面板的标识符号、文字符号的含义是基本相同的，读者可以参考表2-5来了解其基本意义。

表2-5　数字式万用表常用标识符号、文字符号的意义

标识符号、文字符号	基本意义
RANGE	量程键
RH	量程保持
FUNCTION	功能键
MEM	存储键
RST	复位键
MEM　RCL	读存储数据键
PRINT	打印键
HOLD、H、DH、DATA	读数（显示值）保持开关（保持键）
SET	预置键
ADJ	调整旋钮
AUTO　CAL	自动校准
CAL	校准
AC/DC	交流、直流选择键
AUTO-MAN　RANGE	自动/手动转换量程
AUTO、AR、AUTO-RANGE	自动转换量程
MAN　RANGE	手动转换量程
DCV	直流电压档
DCA	直流电流档
ACV	交流电压档
ACA	交流电流档
Ω、OHM	欧姆档
C、CAP	电容档
T、TEMP	温度档
F、f、FREQ	频率档

（续）

标识符号、文字符号	基 本 意 义
ZERO　ADJ	电容档手动调零旋钮
HΩ	高阻档
LΩ	低阻档
G	电导档
·)))	蜂鸣器档
BZ	蜂鸣器
AUTO　OFF　POWER	自动关断电源
COM	接黑表笔
F/V/Ω（FVΩ）	频率、电压、电阻测量插孔
h_{FE}	晶体管电流放大倍数测量插孔
Hz	频率测量插孔
mA	电流测量插孔
SLEEP　MODE	休眠模式（备用状态）
LCD	液晶显示器
V/Ω	电压/电阻插孔
C（K　TYPE）	温度测量插孔
|	超量符号（超量程时在最高位出现）
UR、UNDER	欠量程
OL	过载（超量程）
AP	自动极性显示
R　MS AV、AVG	有效值（方均根值） 平均值
△	相对值测量标志符
⚠	注意！应参照说明书操作
ϟ	危险！此处可能出现高压
—	负极性显示标志符

数字式万用表的使用方法如下：

（1）直流电压的测量

图 2-47 所示为直流电压的测量方法，虽然数字式万用表有自动转换极性的功能，但最好还是用万用表的红表笔接被测电压的正极，黑表笔接被测电压的负极，这样可以减小测量误差。

测量时，首先将红表笔插入 V/Ω 插孔，黑表笔插入 COM 插孔，然后将量程开关置于“$\underline{V}$”档（或 DCV 档）范围内合适的测量档位上，这样就可以进行测量了。

（2）交流电压的测量

在使用数字式万用表测量交流电压时，为了消除万用表输入端对地分布电容的影响，减小测量误差，最好把黑表笔接到被测电压的低电位端，如 220V 的零线端，被测交流信号的公共端等。

测量时，首先将红表笔插入 V/Ω 插孔，黑表笔插入 COM 插孔，然后将量程开关置于“$\underset{\sim}{V}$”档（或 ACV 档）范围内合适的测量档位上，这样就可以进行测量了，如图 2-48 所示。



图 2-47　直流电压的测量



图 2-48　交流电压的测量

（3）电阻的测量

使用数字式万用表测量电阻的方法如下：

1）测量电阻时，被测电路必须要停电，若是带电测量很容易损坏仪表。欧姆档量程的大小要根据被测量的大小进行合理的选择，在测量时，

如果显示器显示的数字是“1”，则表明被测量已经超过了所选择的量程，此时要重新调整后再进行测量。

2）使用 200Ω 欧姆档测量电阻时，应先将两支表笔短路，测出两支表笔的引线电阻值，如图 2-49 所示，然后再进行电阻测量，每次测量的实际电阻值就是显示器的显示数值再减去表笔引线电阻值。而使用 200Ω 以上的欧姆档测量时，其引线电阻值则可以忽略不计。



图 2-49　测量表笔引线电阻值

3）在测量电阻时，两只手不能同时碰触两表笔的金属部分，特别是测量元器件的电阻时，更不能用手同时捏住两引脚，否则将会引入人体电阻，严重影响测量结果。另外，在测量电阻时，应检查表笔插头与插孔之间接触是否紧密，要防止接触不良现象的发生，以免影响测量结果。

4）使用 2MΩ 或以上欧姆档时，显示器的显示值将会出现跳跃现象，要经过几秒钟才能稳定下来，应该等数值稳定后再读取数值。

5）使用 200MΩ 欧姆档时，由于该档存在 1MΩ 的固有零点误差，所以测量的实际值应是显示器的读数减去固有零点误差。比如 $3\frac{1}{2}$ 位数字式万用表的零点误差是 10 个字，若是测量某电阻值是 201.0MΩ，那么其实际阻值就是 200.0MΩ。

6）测量电阻时，应将红表笔插入 V/Ω 插孔，黑表笔插入 COM 插孔，将量程开关置于“Ω”的范围内并选择所需的量程，检测时只需将两支表笔分别接在被测元器件的两端或电路的两端即可，如图 2-50 所示。

（4）二极管的检测

用万用表检测二极管的方法如下：

图 2-51 所示为二极管的检测方法。





图 2-50　电阻的测量



图 2-51　二极管的检测

1）用万用表检测普通二极管时，要用红表笔接被测二极管的正极，黑表笔接被测二极管的负极。

2）测量时，如果被测二极管是正常的，当正向偏置时，硅二极管应有 0.5～0.7V 的正向压降，锗二极管应有 0.15～0.3V 的正向压降。反向偏置时，硅二极管与锗二极管均使万用表显示溢出符号“|”。

3）测量时，如果被测二极管已经被短路击穿，在正反向偏置时万用表均显示“000”；如果被测二极管内部已经开路，在正反向偏置时万用表均显示符号“|”

2.4.3　钳形电流表

通常用普通电流表测量电流时，需要将电路切断停机后才能将电流表接入进行测量，这是很麻烦的，有时正常运行的电动机不允许这样做。此时，使用钳形电流表就显得方便多了，可以在不切断电路的情况下来测量电流。现在使用的钳形电流表主要有指针式和数字式两种，如图 2-52 所示。钳形电流表主要功能是在不断开回路的条件下测量交流回路的电流，有些还能测量交流电压。它是由开口的电流互感器和表头组成的。



a)指针式钳形电流表　　b)数字式钳形电流表

图 2-52　钳形电流表

1．钳形电流表的结构

钳形电流表主要是由开合的铁心及扳手、测量选择开关、欧姆档调零旋钮、表头、表笔插孔腕带等部分组成的，如图 2-53 所示。



图 2-53　钳形电流表的基本结构

表头如图 2-54 所示。表头的下边中间有一个机械调零器，用以校准指针的机械零位。表头刻度盘上共有 3 条刻度线，从上往下依次是：交流电流刻度线（黑色）、交流电压刻度线（红色）、电阻刻度线（绿色）。表头右上方是测量选择开关，选择量程档位时拨动旋钮即可，从窗口可看见所选量程档位的指示。

当然，钳形电流表最显著的特征还是表体前端能够开合的铁心，专门用于测量交流电流，如图 2-55 所示。铁心由右侧的固定部分和左侧的活动部分组成，当用力按下表体左前端的扳手时，活动铁心即张开，以便嵌入被测导线。



图 2-54　钳形电流表的表头结构　　图 2-55　钳形电流表活动钳口的操作方法



2．钳形电流表的使用方法

钳形电流表在使用前，首先应检查指针是否指在机械零位上，即指针在静止时，是否准确指在刻度线最左边的“0”位上。如果不在，应按图 2-56 所示，用小螺钉旋具缓慢旋转表头下边的机械调零器，调节指针的静止位置，使其准确指向“0”。



图 2-56　钳形电流表的调零

（1）交流电流的测量

钳形电流表测量交流电流是用活动的钳口进行测量，因而无需表笔。拨动钳形电流表上的测量选择开关至交流电流测量的合适量程，如暂时无法估计被测电流则应选择最大量程，然后根据测量结果再逐步降低量程。测量时，按下扳手使铁心钳口张开，如图 2-57 所示嵌入被测导线，并尽量使被测导线位于铁心钳口的中央且垂直于钳口平面，然后松开扳手使铁心完全闭合后，指针即指示出被测电流的数值。如果指示值太小（指针偏转太少），说明量程过大，可转换至较低量程后重新测量，以读取更加精确的读数。转换量程必须在非测量状态进行，即应先将被测导线退出铁心钳口，才能拨动测量选择开关转换量程。

测量时还应注意，每次只能嵌入一根导线（比如一根相线或一根中性线均可）。对于双绞线，应将其分开，然后嵌入其中的一根导线进行测量。对于双股护套线或多股电力电缆，则需切开最外面的绝缘护套层，分开立面的各股导线，再嵌入其中的一根导线进行测量，如图 2-58 所示。

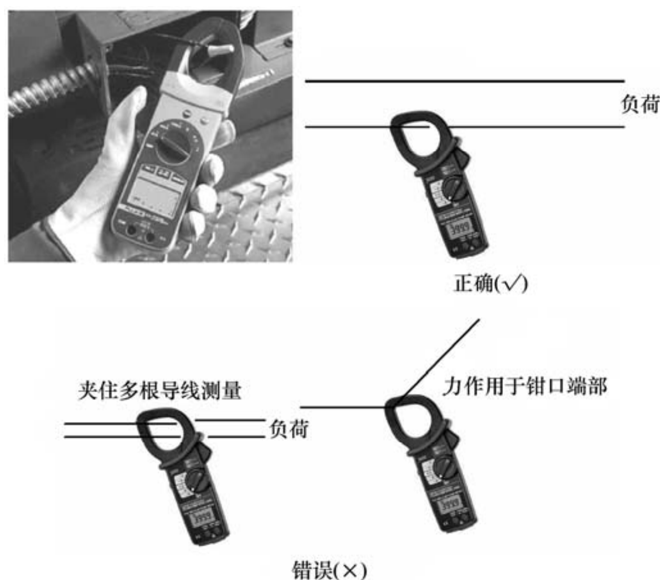


图 2-57　用钳形电流表测量交流电流



图 2-58　用钳形电流表测量护套线或电缆电流的方法

当被测电流很小、指针指示数小于刻度线的“1”时，已不能准确读数。这时可将被测导线绕线圈后套在钳口铁心上进行测量，这时将测得的读数值除以被测导线穿过铁心钳口的次数，即为被测导线的实际电流值，如图 2-59 所示，被测导线 3 次穿过铁心钳口（绕了两圈），选用最小一级量程，指针指示数为“1.2”，则该被测导线的实际电流值为 1.2A÷3=0.4A 。



（2）交流电压测量

测量交流电压或电阻均需要表笔，测量前应首先将红、黑表笔插入钳形电流表左侧的两个表笔插孔中（不分正负）。

测量方法与使用万用表相似。根据被测电压的估计值，拨动钳形电流表上的测量选择开关至交流电压“300V”或“600”档，将两表笔接触被测电压两端进行测量，如图 2-60 所示。



图 2-59　测量小电流的方法



图 2-60　用钳形电流表测量交流电压的方法

交流电压两档位共用一条“ACV”刻度，刻度线满度值为“300”。读数时，如使用的是“300V”档，则表针指示数即为被测电压读数；如使用的是“600V”档，则需将指针指示数位“110”，如在“300V”档则电压读数为 110V，如在“600V”档则电压读数为 220V。

2.4.4　绝缘电阻表

绝缘电阻表是测量电气设备绝缘电阻的重要仪表，因其表盘上刻度读数的单位是“兆欧”所以又习称兆欧表。绝缘电阻表又分为指针式和数字式两大类，如图 2-61 所示。



图 2-61　绝缘电阻表

绝缘电阻表的使用方法如下：

1）在使用绝缘电阻表前，必须对仪表进行一次必要的外观检查，其接线端子应完好无损，表盘刻度要清晰，玻璃罩应完好；指针应无扭曲，平放时指针应偏向“∞”一侧，水平方向摆动时指针应随之摆动无任何障碍。

2）绝缘电阻表的短路试验：如图 2-62 所示，在仪表停转的情况下，将 L 与 E 两接线柱短接，缓慢转动摇柄，如果指针指在“0”位，表示正常，否则应进行必要的检修。

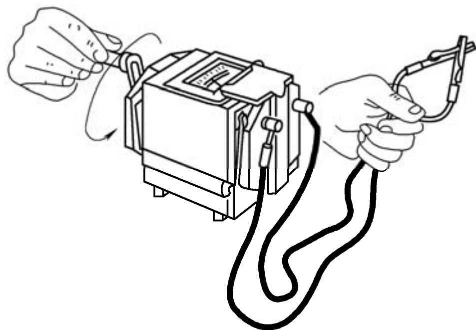


图 2-62　绝缘电阻表的短路试验

3）绝缘电阻表的开路试验：如图 2-63 所示，将绝缘电阻表水平放置，未接线或 L、E 两端子的测试线处于开路状态下，摇动手柄有手沉感，转动摇柄至额定转速，如指针指在“∞”附近，则说明绝缘电阻表基本正常，否则应进行必要的检修。

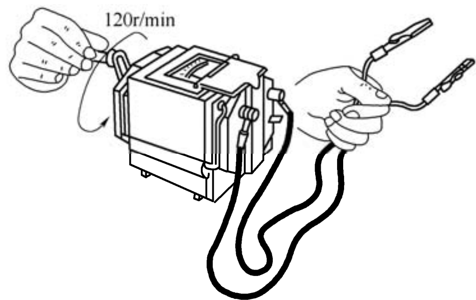


图 2-63　绝缘电阻表的开路试验

4）检查绝缘电阻表的引线是否合格，最好使用专用测试线，如果没有专用测试线，可使用绝缘良好的两根单芯多股软线，不能使用双股麻花线、平行线，禁止将两根引线缠绕或靠在一起使用。

5）接好绝缘电阻表的接线柱：E 接线柱接地；L 接线柱接线路；G 接线柱接屏蔽环。在接线时，应将被测电气设备的通电部分接在 L 接线柱上，被测物的接地端或机壳与绝缘电阻表的 E 接线柱连接，被测设备的保护屏蔽部分或其他不参与测量的部分接在 G 接线柱，以消除测量误差。

6）不要在雷雨时使用绝缘电阻表，被测物的表面应擦干净，如果被测物内有可燃性气体还应放尽，以免引起爆炸。对电容器、大型变压器、电缆等电容量较大的设备还需对地充分放电；对供电线路则要经过验电，在有可能产生感应电压的线路上测量绝缘前，另外一条线路也必须停电。测量电子成套设备的绝缘电阻时，应将连接回路与电子控制单元分开，电子控制单元要用万用表的欧姆档测量检查（由于电子元器件的耐压低），连接回路用绝缘电阻表测量。

另外，绝缘电阻表的放置要平稳，摇动手柄时应由慢到快，转速不能时快时慢，当达到 120r/min 时应保持稳定，转速稳定后，表盘上的指针才能稳定，指针的指示就是测得的绝缘电阻的阻值。

还有，如果被测设备在户外较高的构架上，邻近有其他带电设备时，要注意将试验引线固定好，以免试验时引线被风刮到邻近的带电设备上造成事故。

7）为了提高测量的准确度，要根据被测对象的额定电压，选择不同电压等级的绝缘电阻表，可以参考表 2-6。一般低压电气设备可选用 0～200MΩ 量程的表，高压电气设备或电缆、线路可选用 0～200MΩ 量程的表。刻度从 1MΩ 或 2MΩ 起始的绝缘电阻表不宜测量低压电气设备的绝缘电阻。

表 2-6　绝缘电阻表的选择

被测对象	被测设备额定电压/V	绝缘电阻表的额定电压/V
线圈绝缘电阻	500 以下	500
	500 以上	1000
电力变压器绕组、电动机绕组的绝缘电阻	500 以上	1000～2500

（续）

被 测 对 象	被测设备额定电压/V	绝缘电阻表的额定电压/V
发电机绕组的绝缘电阻	500 以下	1000
电气设备的绝缘电阻	500 以下	500～1000
	500 以上	2500
瓷绝缘子		2500～5000

8）使用绝缘电阻表测量线路的对地绝缘电阻时，其接线方法如图 2-64 所示。使用绝缘电阻表测量电动机对地绝缘电阻时，其接线方法如图 2-65 所示。使用绝缘电阻表测量电缆的绝缘电阻时，其接线方法如图 2-66 所示。

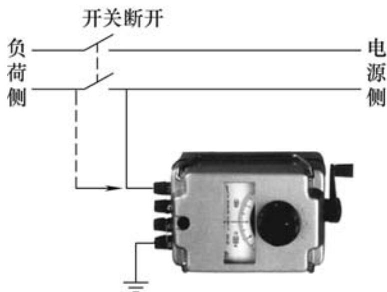


图 2-64　用绝缘电阻表测量线路的对地绝缘电阻

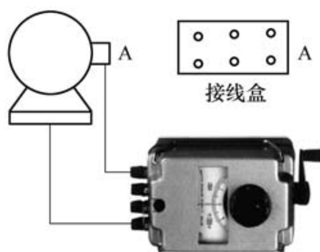
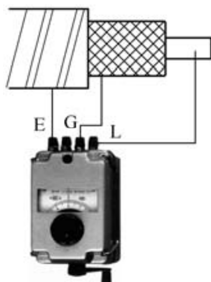
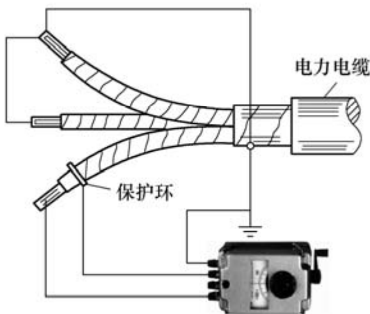


图 2-65　用绝缘电阻表测量电动机对地绝缘电阻



a)线芯对外皮的接地



b)检查表面泄漏的接地

图 2-66　用绝缘电阻表测量电缆绝缘电阻



使用绝缘电阻表测量电容器的绝缘电阻的方法是，用绝缘电阻表的E接线柱接电容器的金属外壳，用裸导线将所有出现的瓷套管缠绕后接表的G接线柱，用绝缘钳夹起L线，把绝缘电阻表的手柄摇到120r/min时，就可以将 L 线搭接在任一电极上，等指针稳定后就可以读数了。应当注意的是，只能测试电容器的极对地的绝缘电阻，不能测量极与极之间的绝缘电阻，因为电容器的极间摇测，实际上是对电容器充电，无法测量其绝缘电阻。

9）测量期间，由于绝缘电阻表手摇发电机能产生几百伏甚至几千伏的直流电压，所以千万不能用手触摸表的接线端和测试端。

10）绝缘电阻表用完后应存放在干燥常温下，以免内部绕组或零件因受潮腐蚀而损坏。

今天问答题



1．钢丝钳的绝缘柄套耐压多少伏?
2．电工刀为什么不能带电操作?
3．紧线器的使用方法是什么?
4．使用喷灯的安全注意事项有哪些?
5．“止步，高压危险!”的标示牌应该悬挂在什么地方?
6. 电压表应该串联在线路中吗? 电流表应该并联在线路中吗?
7．怎样用数字式万用表测量线路中的电压?

第 3 天

学习变压器安装与运行技术



上午（8:00 ~ 11:30）

◎ 3.1 变压器在电力系统中的作用

变压器是电力系统中重要的电气设备，它的作用是把某一电压的交流电能转换为同频率的另一种电压的交流电能。在生产和生活中使用的电能是由发电厂的发电机生产的。但是由于受绝缘水平的限制，发电机发出的电压一般比较低（如 6.3kV、10.5kV 等），往往用电的地方都远离发电厂，而输送一定功率的低电压电能至远方，将会造成很大的电能损失，甚至是不可能的。因此，要把发电厂生产出来的电能，升高电压后（至 35kV、110kV、220kV、330kV 及 500kV 等），送到接近负荷的地方。为了方便使用和用电的安全，在用电地区又需要用降压变压器逐级将电压降低。由图 3-1 可见，在整个电能的输送、分配和使用过程中，变压器是不可缺少的电气设备。

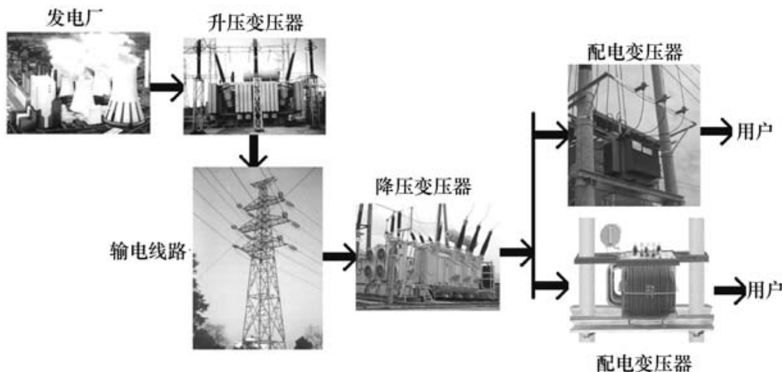


图 3-1 输、变、配电系统图



3.2 变压器的工作原理

变压器是根据电磁感应原理制成的，变压器的基本工作原理如图 3-2 所示。它由一个闭合铁心和套在铁心上的两个不同匝数的绕组组成。一次绕组匝数为 N_1，二次绕组匝数为 N_2，如果在二次绕组上接一个灯泡作为负载，当一次绕组接到交流电源上时，交流电便在铁心中产生交变磁通（称为主磁通 $\varPhi$），这个交变磁通将使一次绕组中产生自感电动势，在二次绕组中产生互感电动势。对于负载来说，二次绕组的这个电动势就相当于电源电动势，因而在二次绕组与灯泡连接的回路中产生电流，使灯泡发亮。

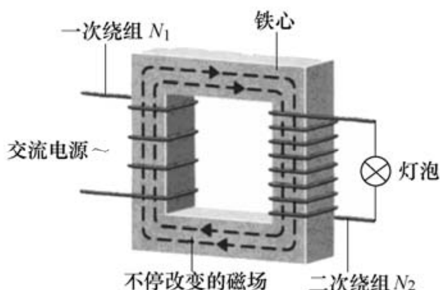


图 3-2　变压器的基本工作原理图

从上面的分析中可以看到，变压器的一次绕组所接电源提供的电能，通过铁心中的主磁通这个“媒介”，传递到二次绕组，这就是变压器的工作原理。因此变压器是一种传递电能的电气设备，它只能传递电能，而不能产生电能。

由于一、二次绕组中产生不同的感应电动势，它们之间的关系为

$$\frac{\text{一次绕组的感应电动势}E_1}{\text{二次绕组的感应电动势}E_2}=\frac{\text{一次绕组的匝数}N_1}{\text{二次绕组的匝数}N_2}=k$$

由于绕组本身有阻抗，当电流通过时，在绕组上会有一个电压降，所以一次绕组的感应电动势与一次绕组本身的电压降加起来，才等于电源提供的电压 U_1。但是一般来说，绕组本身的阻抗很小，可以忽略不计，因此可以近似的认为 E_1 和 U_1 相等。同样道理，可以近似地认为 E_2 和二次输出电压 U_2 相等，这样就可以近似地认为

$$\frac{U_1}{U_2}=\frac{N_1}{N_2}$$

变压器一次绕组的匝数与二次绕组的匝数之比，称为变压器的电压比，常用 k 表示，即：

$$\frac{N_1}{N_2}=k$$

若将变压器本身在工作中发热等一些能量损失忽略不计，可以近似地认为变压器输入功率 P_1 等于变压器的输出功率 P_2，这样就有 $U_1I_1=U_2I_2$，则可以得出

$$\frac{U_1}{U_2}=\frac{I_2}{I_1}=\frac{N_1}{N_2}$$

这就是变压器的基本公式。从式中可以看出，变压器可以改变电压，即匝数多的绕组一边电压高，匝数少的绕组一边电压低。同时变压器也可以改变电路电流，匝数多的一边电流小，匝数少的一边电流大。

电力系统中广泛使用的三相变压器，它的基本原理与上面介绍的单相变压器是相同的。三相变压器的一次侧和二次侧各有三个绕组，分别套在三个铁心上。三相变压器的结构原理如图 3-3 所示。就三相变压器的每一相来说，都相当于一个单相变压器。

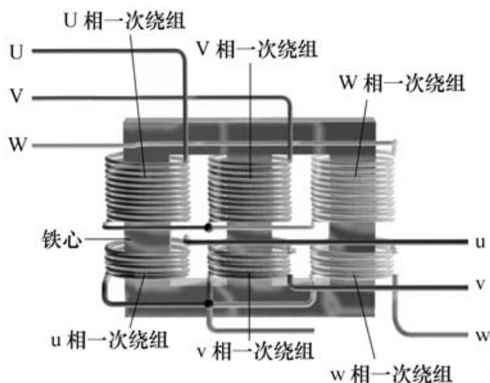


图 3-3　三相变压器的构造原理



3.3 变压器的结构

变压器由铁心和绕组两部分组成，它们合称为器身。为了安全可靠地运行，油浸式变压器的器身放置于灌满变压器油的油箱中，油箱上还配置有储油柜、绝缘套管、安全气道、气体继电器、散热器及其他附属设备。图 3-4 所示为变压器的基本结构。

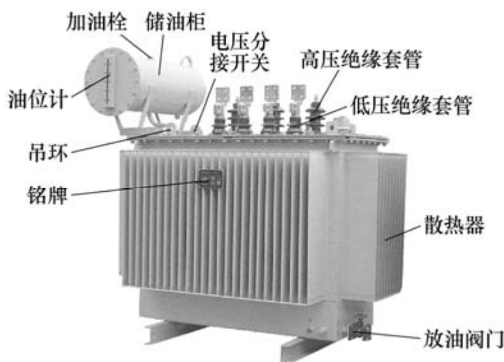


图 3-4 变压器的基本结构

1．高、低压绝缘套管

变压器高、低压绝缘套管是变压器箱外的主要绝缘装置，也是变压器对地绝缘、固定高、低压绕组的接线与外电路连接的主要部件，如图 3-5 所示。绝缘套管的作用是将高压和低压绕组由箱内引至箱外，大部分变压器绝缘套管的外部采用陶瓷制成，中间为导电杆。绝缘套管装在变压器油箱的顶盖上，导电杆的一端在油箱内部，分别与变压器的高、低压绕组的接线端点连接，在油箱外部的一端与外部电路相连。



图 3-5 变压器的高、低压绝缘套管

变压器的高压绝缘套管的外形高而大，低压绝缘套管的外形矮而小。通常可以由绝缘套管的大小来识别一台变压器的高、低压侧。

安装中在拧卸高、低压绝缘套管上的螺钉时，一定要注意不要使螺栓转动，以免引起变压器内部引线短路，造成事故。

2．油箱

油箱是变压器的外壳，用钢板焊成，如图 3-6 所示。容量大的变压器多采用油浸式，把整个铁心和绕组放在油箱内，这是因为变压器油的绝缘性能比空气好，从而缩小变压器尺寸，节省材料，并且油加热后可加速对流作用，及时将绕组和铁心的热量传到油箱壁和散热器壁，有效地改善散热条件。



图 3-6　变压器的油箱

3．电压分接开关

电压分接开关如图 3-7 所示。

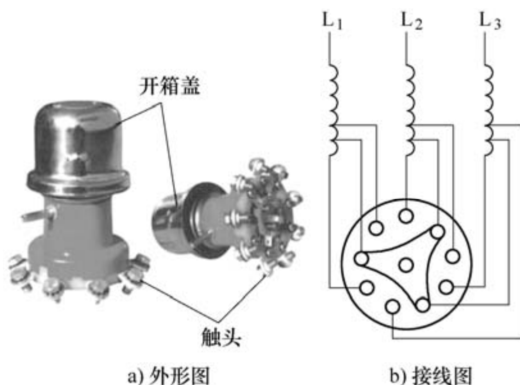


图 3-7　电压分接开关



其作用是改变变压器高压绕组的抽头，以改变变压器的电压比进行调压。在变压器一次侧的三相绕组中，根据不同匝数引出几个抽头，这几个抽头按照一定的接线方式，接在分接开关上。开关的中心有一个转动的触头，当变压器需要调整电压时，改变分接开关的位置，实际上是通过转动触头改变了绕组匝数，这样就改变了变压器的电压比。一般变压器的分接开关装于变压器的高压侧绕组上，这是由于高压侧绕组电流小，绕组抽头及其触头较容易制作和调节，但绝缘要求相对较高。通常，电压在 35kV 及以下、容量在 1000kVA 及以下的电力变压器中，其分接开关一般有三个分接抽头，中间一个为额定电压，上、下两个分别为额定电压±5％的电压偏移量。

4．铁心

铁心是构成变压器磁路的部件，由铁心柱和铁轭两部分组成，铁心柱上套装有绕组，而铁轭使整个磁路形成闭合回路，如图 3-8 所示。

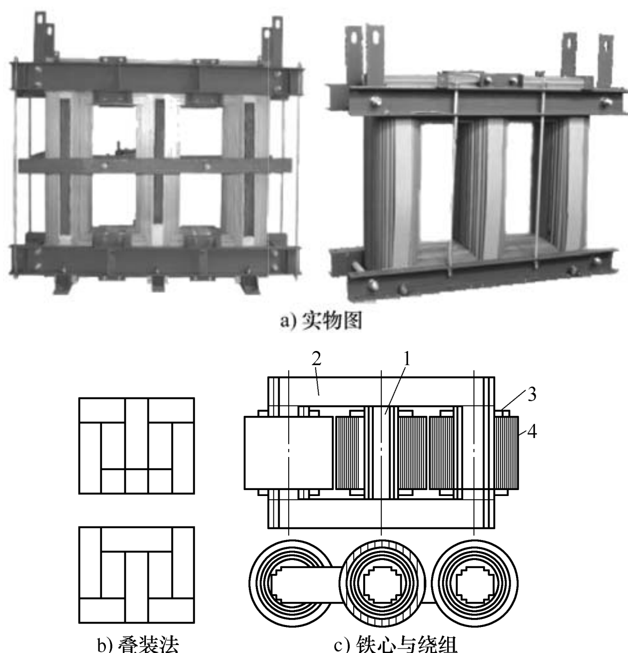


图 3-8　变压器的铁心和绕组

1—铁轭　2—铁心柱　3—低压绕组　4—高压绕组

为了提高磁路的磁导率、减小涡流和铁心的功率损耗，铁心一般由 0.35mm 厚的硅钢片交错叠装而成，片间涂以 0.01～0.013mm 厚的漆膜，硅钢片分为热轧和冷轧两种。冷轧片由于顺碾压方向具有良好的导磁性能，所以采用了斜接缝切片交错叠装的方法，各层的接缝应错开，一般采用 45° 斜接缝，这样可以减少拐角处的附加损耗。目前生产的电力变压器其铁心都采用冷轧片制造。

中小型单相变压器采用单相双柱式铁心。两个铁心柱上均可套装绕组，既可互相串联也可并联，铁心柱与铁轭截面积相同。

变压器铁心必须接地，因为变压器运行时，铁心处在强电场中，具有很高的电位，如果不接地，势必与接地的油箱、铁轭之间产生较高的电位差而导致放电现象，这会造成变压器事故。但若铁心硅钢片几点接地，则硅钢片沿接地处形成涡流通路，使涡流损失加大，造成铁心局部发热，这是不允许的。硅钢片之间虽然涂有绝缘漆，但其绝缘电阻较小，只能隔断涡流而不能阻止高压感应电流，故只要将一片硅钢片接地就相当于整个铁心都接地。

5．绕组

绕组是变压器的电路部分（见图 3-9），一般变压器都有一次、二次绕组。变压器的绕组是由具有良好绝缘的漆包线绕成一定形状、一定匝数的线圈组成。与电源相连的绕组，即接受外加交流电能的线圈称为一次绕组。而与负载相连接的绕组，是向外输出电能的线圈，称为二级绕组。



图 3-9　变压器的绕组

小型电力变压器常用漆包线绕制，中大型电力变压器常采用绝缘扁铜线或铝线制成，环氧树脂干式浇注变压器也可用铝箔绕制。



变压器的绕组一般采用同心式绕制。为便于绝缘及安装电压分接开关，低压绕组置于内层，靠近铁心，高压绕组置于外层，因为高压绕组绝缘要求高。若低压绕组在外，高压绕组就贴近铁心，这样必须加强绝缘，造成变压器造价提高。内外层绕组之间留有油道，供变压器油循环冷却时流通。

6．变压器油

在油箱里装有大量的变压器油，变压器油主要有两个作用：一是绝缘作用，变压器油的绝缘能力比空气强，绕组浸在油里可以加强绝缘，并且避免与空气接触，预防绕组受潮；二是散热作用，变压器运行时，其内部各处温度是不一样的，利用热油上升和冷油下降的对流作用，把铁心和绕组产生的热量通过箱壳和散热器散发到外面去。

常用的变压器油有 10 号、25 号、45 号三种规格，其标号表示这种油开始凝固时的零下温度，例如，25 号表示这种油在−25℃时开始凝固，实际使用时应根据当地的气候条件选用。变压器新油为淡黄色，长期运行后呈现深黄色或浅红色。图 3-10 所示为纯净的变压器油。



图 3-10　变压器油

7．储油柜

储油柜如图 3-11 所示。储油柜装在变压器顶盖上用钢板制成的圆筒内，充以适量的油，与油箱连通。它的作用是当变压器运行负载变化或周围环境温度变化，变压器油随之热胀冷缩变化，变压器油的体积随油温升高而膨胀时，油箱里的油充入储油柜，而当油的体积因温度下降而收缩时，储油柜里的油又流入油箱，储油柜起着储油和补油的作用。还可减少变压器油与大气的接触面积，以防止变压器油的过快衰老和受潮，储油柜上部

可以补油，下部可以放出污秽油污。储油柜上部设有油表，指出变压器空载下对应环境温度时变压器应有的油位，便于运行人员检查油位。



图 3-11　变压器的储油柜

8．吸湿器

吸湿器的作用是使储油柜内的油通过它与大气相连通时，由它吸收空气中的潮气和杂质，以保持绝缘油的良好性能。吸湿器内部装有干燥剂硅胶（见图 3-12），干燥的硅胶呈蓝色，吸潮后变为粉红色，应予更换或经烘干后再次使用。



图 3-12　吸湿器

3.4　科学合理选择变压器的方法

3.4.1　变压器容量选择的基本要求

1）所选择的变压器容量，既能满足用电需求，又能使容量得到合理的利用。也就是在高负载时不出现过载，又能使最小负载系数保持在 30% 以上，而且变压器的选择还应能满足当地 5 年内的发展规划。

2）用户新装配的变压器，必须选用节能产品，如选用 S7 系列或 S9



系列低损耗变压器。旧的SJ、SJ1、SJL1型号高、中损耗变压器国家已明令淘汰，对仍在运行的高损耗变压器也应逐步进行更换改造。

3）在选择变压器的容量和台数时，应本着“小容量、密布点、短半径”的原则，要尽量采用多台分布的小容量，避免单台大容量，不要宁大不小，以免引起供电范围过大、低压供电线路过长，增加线路建设投资，造成电压质量差、低压线损大。

4）为减少损失，一些季节性较强的专用变压器不应接入其他负荷，以便在不用时及时停运。若接入其他负荷，则宜选用双台变压器或使用STT 型低损耗调容量变压器，以便在非使用时间通过调容量分接开关将变压器容量调小。

3.4.2 变压器容量选择的方法

1．供动力用变压器容量的选择

供动力用变压器容量的选择可按下式进行：

$$S=\frac{\Sigma P}{0.7\sim0.75}$$

式中 S——变压器容量（kVA）；

ΣP——主要动力的容量（kW）。

本公式主要用于以电动机为动力负载的场所。

2．工厂企业配电变压器容量的选择

$$S=(1\sim1.4)\times P$$

式中 S——变压器容量（kVA）；

P——工厂企业的负载容量（kW）。

在选择时，大型企业、厂矿及一班制生产单位取小值，小型厂矿及连续性三班制生产单位取大值。

3．农村综合用配电变压器容量的选择

变压器容量（kVA）=［生活用电总容量（kW）×同时率+动力负载总容量（kW）×同时率］×1.3（电力负载发展系数）

式中的同时率是指同一时间内用电的实际负荷容量之和占总装容量的比值，在实际选用中，为简便可按实际可能出现高峰负荷总千瓦数的1.3倍选用变压器的容量。

3.5 科学合理选择变压器高、低压侧熔丝

变压器高、低压侧熔丝的科学合理选择可参见表 3-1 所示的推荐值。

另外，在这里再介绍一种根据变压器的额定容量和额定电压选配高低压侧熔丝的方法。如果设变压器的额定容量为 S_N（kVA）；高压侧的额定电压和额定电流分别为 U_1 和 I_1，应配置的熔断器熔丝的额定电流为 I_{1R}，低压侧的额定电压和额定电流分别为 U_2 和 I_2，应配置的熔断器熔丝的额定电流为 I_{2R}，则计算公式为

$$I_{1R} = (1.5\sim2)I_1 = (1.5\sim2)S_N/\sqrt{3}\ U_1 = S_N/U_1$$

$$I_{2R} = (1.2\sim1.3)I_2 = (1.2\sim1.3)S_N/\sqrt{3}\ U_2 \approx 0.72S_N/U_2$$

上述公式的计算结果如果不是刚好等于熔断器熔丝应有的电流规格，此时需要加一点或减一点靠到熔丝能有的电流规格值上。

表 3-1 变压器高、低压侧熔丝的合理选择

变压器额定容量/kVA	高压侧（10kV）		低压侧（0.4kV）	
	变压器额定电流/A	配熔丝额定电流/A	变压器额定电流/A	配熔丝额定电流/A
10	0.58	3	14.4	15
20	1.15	3	28.8	30
30	1.73	5	43.3	50
50	2.89	7.5	72.1	80
63	3.64	10	90.9	100
80	4.62	10	115.5	120
100	5.77	15	144.3	150
125	7.22	15	180.4	200
160	9.24	20	230.9	250
200	11.54	20	288.7	300
315	18.19	30	454.7	475



3.6 变压器的室外安装

3.6.1 变压器安装前的检查

变压器在安装前一定要进行如下检查：

1）首先应检查变压器的油箱及所有附件是否齐全完好，无锈蚀及机械损伤，油箱密封良好无渗漏油现象，套管无裂纹及放电痕迹。油箱盖及顶盖封板连接的螺栓应齐全完好，储油柜油位正常，油色清晰。铭牌数据清晰齐全，额定电压与线路相符，容量符合设计要求。

2）测量变压器的绝缘电阻：高压侧用2500V绝缘电阻表摇测相与外壳的20℃绝缘电阻，应大于300MΩ。但是要注意，变压器的绝缘电阻是随温度的变化而变化的，其中，10℃时应大于 450MΩ；20℃时应大于300MΩ；30℃时应大于 200MΩ；40℃时应大于 130MΩ；50℃时应大于90MΩ。

低压侧用 500V 绝缘电阻表摇测相与外壳、相与中性点 N 的绝缘电阻，应大于 2MΩ。同时用 500V 绝缘电阻表测量高压绕组与低压绕组间绝缘电阻，应大于500MΩ。

3）转动变压器的调压装置（包括分接开关），看动作是否灵活，接触点是否可靠，要求接触点之间的电阻不大于100MΩ。

4）用万用表R×0.1档测量高压侧相与相之间的直流电阻，其阻值应相等，测量时应在分接开关的三个档位上都进行。打开分接开关时应在无风干燥的条件下进行。

5）检查滚轮距是否与基础铁轨轨距吻合。

3.6.2 杆架式变压器台的安装

杆架式变压器台是利用线路电杆组装成的变压器台。杆上变压器台具有占地少、安全、不易受外力破坏等优点，但用料较多，造价略高。变压器台一般设置在电杆的中部，分为单杆变压器台、双杆变压器台等。

1．安装的一般要求

1）为了便于变压器运行和检修，下列电杆不宜装设变压器台：转角电杆、分支电杆、装有线路开关的电杆、装有高压进线和高压电缆的电杆、

交叉路口的电杆和低压进户线较多的电杆。

2）柱上变压器应安装平稳、牢固，腰栏应采用直径不小于 4mm 的铁丝缠绕四圈以上。铁丝不应有接头，缠绕应紧固。腰栏距带电部分不应小于 0.2m。

3）柱上变压器台离地面不应小于 2.5m，变压器台上所有裸露带电体离地面应在 3.5m 以上，在离地面 2.5～3.0m 的明显部位应悬挂“高压危险，禁止攀登”的警告牌，地面应装设围栏。

4）变压器台应设总配电箱，配电箱底部距地面应不小于 1.4m。其引线应穿管敷设，并做防水弯头。配电箱应具有良好的防水性能，箱门必须加锁。

2．单杆台架式变压器台的安装

单杆台架式变压器台的特点是将变压器、高压跌落式熔断器、高低压避雷器和低压熔断器等设备都安装在一根电杆上。这种变压器台结构简单、组装方便、节省材料，在城市街道两侧、深井泵房等多采用这种变压器台。

单杆台架式变压器台常用于容量为 10～30kVA 的变压器，单杆台架式变压器台施工时，变压器架梁对地面高度一般为 2.5～3.0m，在距架梁 1.8～2.0m 处装设熔断器架梁（也称母线担），在母线担的一端装熔断器架梁，另一端装避雷器。为了安全，变压器的低压侧应朝向电杆，高压侧向外。单杆台架式变压器台的组装如图 3-13 所示。

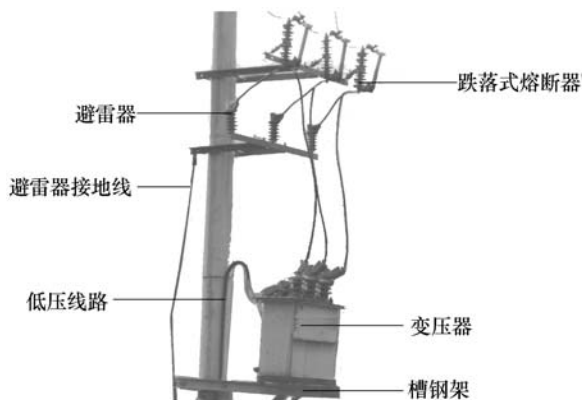


图 3-13　单杆台架式变压器台



3．双杆台架式变压器台的安装

图 3-14 所示是运行中的双杆台架式变压器台，这种变压器台是在距离高压杆（主杆）2～3m 远的地方再立一根电杆（副杆），在离地面 2.5～3.0m 高处用两根槽钢搭成安放变压器的架子，组成 H 形变压器台。在距槽钢上部 1.8～2.0m 处装设母线横担，并拉上短母线。末端装高压避雷器。变压器高压引线均接在母线上。母线横担的另一端安装低压隔离开关。在主杆距地面 4.5～5.0m 处安装熔断器架梁和熔断器横担，高压引下线可以直接引下或通过顶担变换方向引下，经针式瓷瓶接到跌落式熔断器的上接线柱上。这种变压器台适于安装 40～200kVA 变压器。在多台单相变压器作三相运行，或多台变压器并联运行的场合非常适用。双杆台架式变压器台比单杆台架式变压器台牢固，只是用料较多，造价稍高，其组装示意图如图 3-15 所示。



图 3-14　运行中的双杆台架式变压器台

3.6.3　地台式变压器台的安装

地台式变压器台一般用砖或石块加混凝土在地面上砌成，如图 3-16 所示。地台的高度和顶部面积随变压器的大小而定。通常，地台高度以 1.5～2.0m 为宜。当高度小于 1.5m 时，应在其周围装设高度不小于 1.7m 的固定遮栏。遮栏与带电部分保持 1.5m 以上的距离。地台顶部每边比变压器外壳应超出 0.3m，一般取长度为 1.5～2.5m，宽度为 1.0～1.5m。

地台式变压器台的优点是基础牢固，节约材料，造价较低，维修方便。

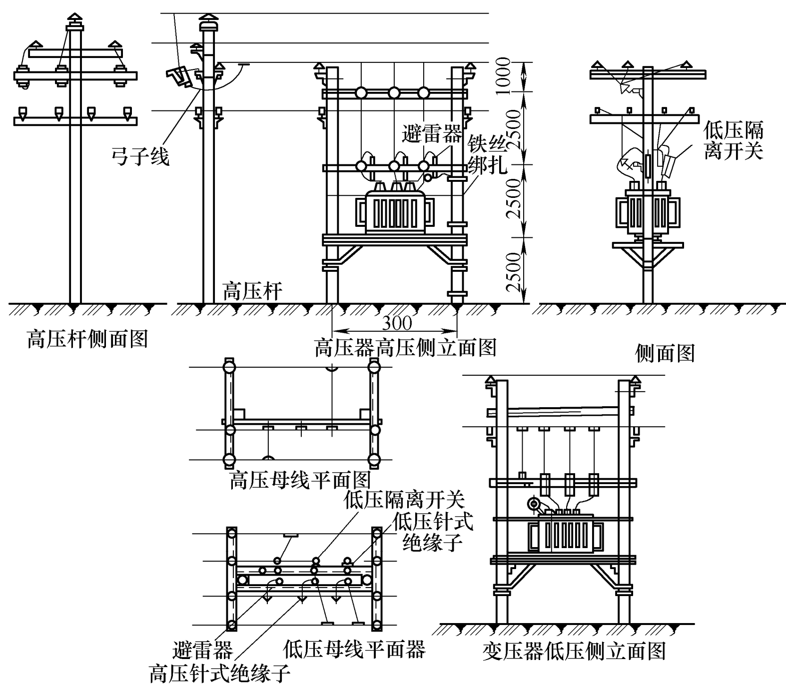


图 3-15 双杆台架式变压器台组装图



图 3-16 地台式变压器台



3.6.4　落地式变压器台的安装

落地式变压器台是直接将变压器安装在用砖石砌成的平台上的安装方式，如图 3-17 所示。平台地基应有坚固的基础，一般是挖深 0.5m，夯实并填以碎石，台基高出地面 0.5m。变压器台四周设有围栏，围栏高度不低于 1.8m，栏条间的净距离不大于 0.1m，围栏距变压器的外廊净距不应小于 0.8m。运行中应挂牌加锁，只有切断电源后才能进入围栏。安装示意图如图 3-18 所示。



图 3-17　落地式变压器台

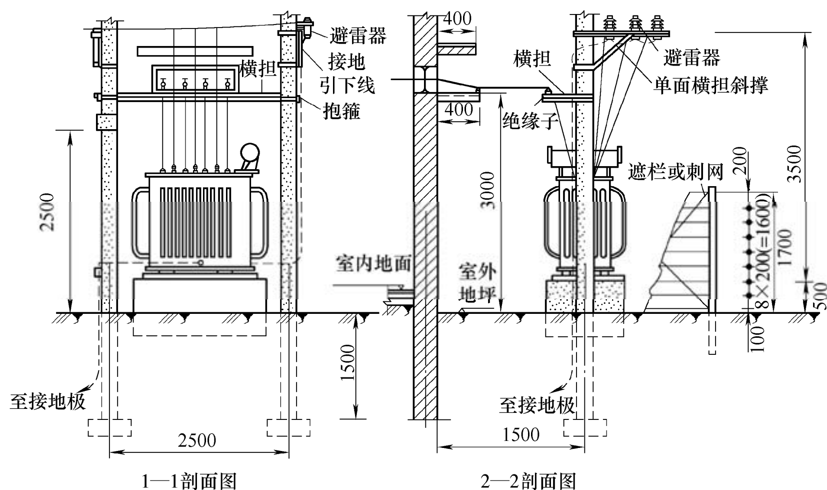


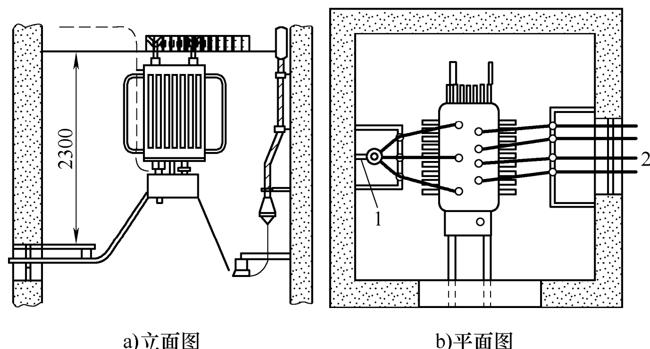
图 3-18　落地式变压器台安装示意图



下午（13:00～17:30）

3.7　变压器的室内安装

为了防止外界各种恶劣环境的侵害，避免变压器及其附件的丢失，防止从配电变压器连接端上窃电，现在逐步将配电变压器安装在室内。变压器室一般有两种形式：一种是配电变压器与低压配电装置安放在一间房内，中间用栅栏隔开（适用于 50kVA 及以下的变压器）；另一种是将变压器和低压配电装置分开，分别建成变压器室和低压配电室，这种配电室适用于容量在 80kVA 级以上的变压器。不管采用哪种形式，变压器室内都必须通风良好，下设百叶窗，上开出风口，并采取防止小动物进入的措施。图 3-19 所示为变压器的室内安装方式。在变压器室的门上或墙上应写明变压器名称、编号，并应有警示标志。



a)立面图　　b)平面图

图 3-19　室内变压器安装方式

1—高压电缆引入　2—低压母线穿墙引出

3.7.1　基础施工

1）变压器与周围墙体的安全距离如图 3-20 所示。图中无括号的尺寸适用于容量小于320kVA 的变压器。有括号的尺寸适用于容量大于320kVA 的变压器。由图可见，电压级别越高，变压器的安全距离越大。

2）变压器室属于一、二级耐火等级的建筑，其大门、进风窗、出风窗的材料应满足防火要求。



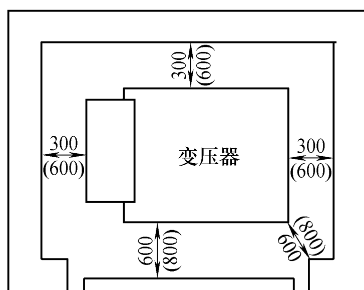


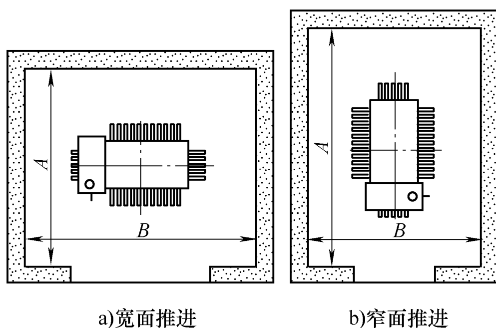
图 3-20　变压器与墙体的安全距离

3）变压器室的高度一般为 3.5～4.5m，高度大小可视具体情况而定。

4）当自然通风的进风温度为 30℃时，变压器室内地坪应比室外地坪高 0.8m；当自然通风的进风温度为 35℃时，变压器室内地坪应比室外地坪高 1.0m。地坪抬高后，变压器室的高度也要相应增大。

5）出风窗顶部应靠近屋梁。自然通风，排风温度不应高于 45℃。出风口的有效面积比进风口的有效面积应大 1.1～1.2 倍。

6）变压器室的门除有特殊要求外，一般可采用铁门。如果采用木制门，应在门的变压器室一面包铁皮。门的宽度和高度根据设备的情况而定，一般宽为 1.5m，高为 2.5～2.8m。门应向外开启并能够上锁。宽度较短（不大于 7m）的配电室，允许只有一个出口，超过 7m 时则至少应有两个出口。变压器安装就位，有宽面推进和窄面推进两种（见图 3-21）。另外变压器室设备构件的安装应与土建施工密切配合，尽量避免临时凿墙。



a)宽面推进　　b)窄面推进

图 3-21　变压器推进示意图

7）混凝土地面不应起沙，墙壁应抹灰刷白。

8）进、出风口百叶窗的内侧应装有网孔不大于 10mm×10mm 的防动物网。基础下面的进风孔可不安装百叶窗，但网孔外面要安装直铁条，以防止网格外的机械损伤。直铁条可采用直径为 10mm 的圆钢，间距为 100mm。

9）室内不应有与设备无关的管道通过，电缆孔内要采取防止小动物进入的措施。

10）基础柜梁与变压器轨轮应相吻合，各金属部件应涂防锈漆。

3.7.2　安装

变压器室的构筑和变压器的基础施工完成后，经验收合格，即可将变压器安装就位了。如果变压器有支座，则可连同支座一起就位于基础的轨道上。此时应注意，变压器运行时其内部产生的气体应全部流向气体继电器，箱盖和气体继电器的连通管应有 2%～4%的坡度。安装时，可用千斤顶将变压器储油柜一端顶起，用垫铁垫在储油柜一端的轨轮。垫铁厚度可由变压器两轮中心距乘以 1.0%～1.5%求得。若轨轮中心距为 1.0m，则垫铁厚度为 10～15mm。

变压器就位后，其滚轮应使用可拆卸的制动装置予以固定，并在滚轮上涂上防锈漆。

3.7.3　接线

变压器的接线主要有电源引入线与高压侧的连接、低压侧与低压引出线的连接和接地线的连接。

变压器电源引入线有高压架空线引入（见图 3-22）和高压电缆引入（见图 3-23）两种。下面介绍高压电缆引入线的接线施工工艺。

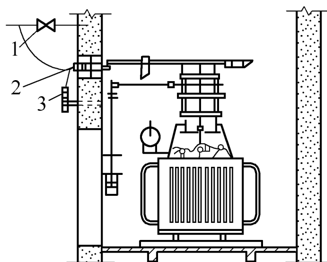


图 3-22　高压架空线引入接线示意图
1—架空线终端瓷绝缘子
2—高压穿墙瓷绝缘子　3—避雷器

1．高压电缆与变压器高压端子的连接

1）高压电缆一般是沿墙垂直敷设的，支撑电缆的卡子如图 3-24 所



示。装设时，各卡子之间的距离一般为 1.5m。卡子的底座应固定可靠，各紧固金属部件都要作防锈处理。目前电缆敷设的固定方法有 U 形固定法和 T 形固定法。

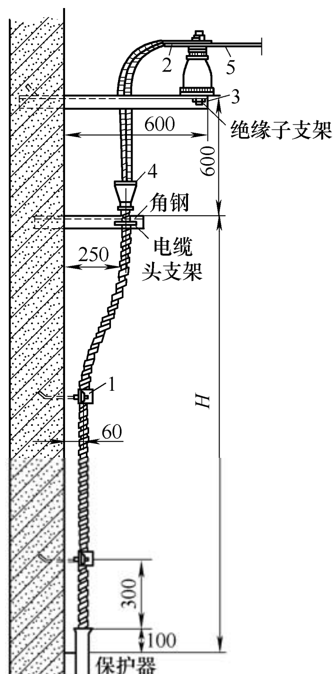


图 3-23　高压电缆引入接线示意图

1—卡子　2—电缆头引入接线端子　3—绝缘子支架　4—电缆头终端盒　5—高压母线

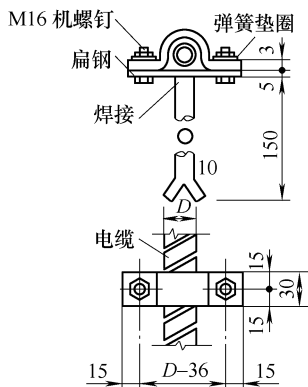


图 3-24　电缆卡子

2）电缆头引线与接线端子连接的做法和工艺要求如图 3-25 所示。

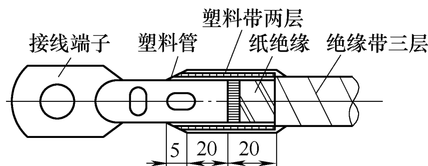


图 3-25　电缆头引线与接线端子连接的做法

3）绝缘子支架如图 3-26 所示。角钢要埋设牢固，10kV 以下电缆角钢支架的加工尺寸如图所列。绝缘子可根据设计要求选择。

4）按照工艺制作电缆终端头。

5）高压母线要按相序排列要求涂漆，在距绝缘子 80mm 处不要涂漆，以备接线用。

6）高压母线与变压器高压端子（套管）的连接如图 3-27 所示。母线与套管连接时，应使用两把扳手，一把扳手固定套管压紧螺母，另一把扳手旋转压紧母线的螺母，以防止套管中连接螺栓跟着转动。

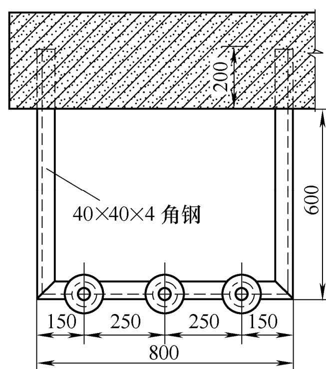
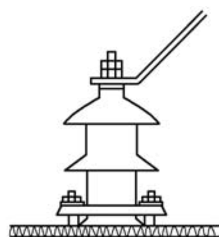


图 3-26　绝缘子支架



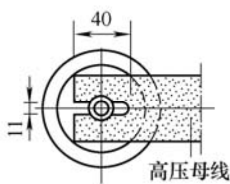


图 3-27　高压母线与变压器高压端子的连接

2．低压母线与变压器低压端子的连接

低压母线与变压器低压端子连接有竖连和横连两种，如图 3-28 所示。由于低压引出母线的电流大，所以采用横连较少。无论采用哪种连接方法，

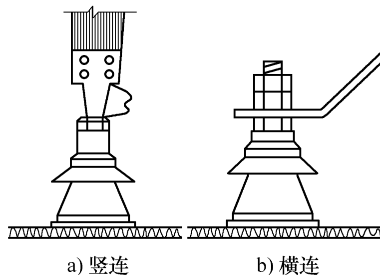


图 3-28　低压母线与变压器低压端子的连接



连接前都应对母线的接触面进行处理。通常，铜母线钻孔后要搪锡，铝母线钻孔后要做好铜、铝过渡接触面的处理，以使接触面接触良好。

室内变压器低压母线多数是经低压绝缘子支架穿墙引出的，如图 3-29 所示。如果母线截面积大于 1000mm^2，支架下面要加支撑。

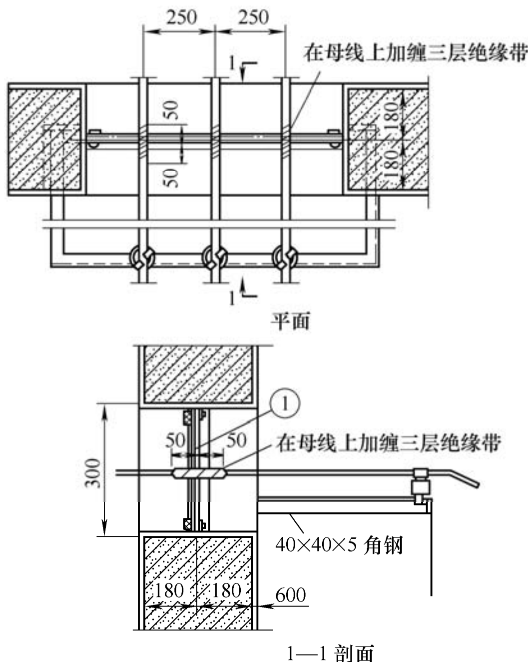


图 3-29　低压母线支架

低压母线穿墙孔施工要求和穿墙板（夹板）加工工艺要求如图 3-30 所示。低压母线穿墙板配件见表 3-2。

3．变压器的接地

在三相四线制低压供电线路中，变压器低压侧有一根中性母线（也称变压器的零母线）。其作用是与供电系统中的中性线（零线）连成工作零母线，同时与本变电所的接地线（接地极）连接起来，使变压器的接地极构成一个整体。零母线截面积的选择，一般按变压器额定电流的 25%考虑。为了测试方便，在变压器中性点的接地回路中，靠近变压器处一般做一个可拆卸的连接点。

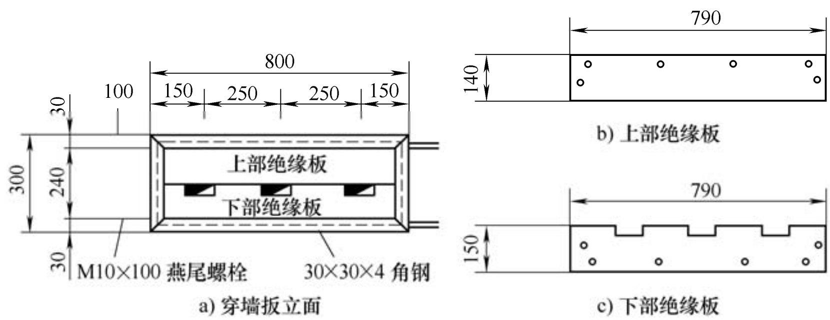


图 3-30　低压母线穿墙板

表 3-2　低压母线穿墙板配件

序　　号	配 件 名 称	备　　注
1	母线夹板	硬木浸渍绝缘油
2	螺栓	M6×60 加垫圈
3	母线	由设计规定
4	绝缘带	黄蜡布

在变压器上部接线时，如果变压器顶盖有开孔，则登上变压器顶盖以前，必须将衣服口袋内的东西全部取出（手表也不许戴），使用的器具最好用绳子系牢。安装用的螺栓、螺母要用盒子装好或由下面的工作人员传给，严防杂物落入变压器箱体内。

3.8　变压器的投运及停运操作程序

1．投运前的检查

值班人员应仔细检查以下各项：

1）确认变压器及其保护装置在良好状态，具备带电运行条件。

2）变压器本体无缺陷、无渗漏油等问题。

3）临时接地线已拆除，外壳有良好的接地。

4）分接开关位置正确。

5）各阀门齐全，关闭正确。

6）高、低压套管完整、无缺陷。

7）变压器出厂合格证、出厂试验单以及有关文件齐全。

8）变压器底座基础稳定、牢固，走轮有可靠的止动装置。

9）变压器如在低温投运时，应防止吸湿器因结冰被堵塞。

2．变压器投运前的冲击合闸试验

1）新装的变压器在投运前应进行 5 次冲击试验，对大修过的变压器要进行 3 次冲击试验。

2）做空载冲击试验的目的是：①在断开空载变压器时，空载电流急剧下降，线圈中因磁场突变而产生很高的电压，从而会击穿薄弱处绝缘。②在带电投入空载变压器时，会产生励磁涌流，其值可达额定电流的 6～8 倍，会使线圈承受很大的电磁力，导致线圈变形或绝缘损伤。

根据上述原因，对变压器进行空载冲击合闸试验是十分必要的。

3．变压器投运和停运的安全操作程序

1）新装、大修、事故检修或换油后的变压器，在施加电压前静止时间不应少于以下规定：110kV 及以下 24h，220kV 及以下 48h，500kV 及以下 72h。

2）装有储油柜的变压器，带电前应排尽套管升高座、散热器及吸湿器等上部的残留空气。对强油循环变压器，应开起油泵，使油循环一定时间后将气排净。开泵时变压器各侧绕组均应接地，防止油流静电危及操作人员的安全。

3）强油循环变压器投运时，应逐台投入冷却器，并按负载情况控制投入的台数。水冷却器应先起动油泵，再开启水系统；停电操作是先停水，后停油泵；冬季停运时，应将冷却器中的水放净。

4）变压器的充电，应在有保护装置的电源侧用断路器操作。停运时，先停负载侧，后停电源侧。

5）在无断路器时，可用隔离开关投切 110kV 及以下，且电流小于 2A 的空载变压器。

6）用于切断 20kV 及以上变压器的隔离开关，必须三相联动，且装有消弧器。

7）装在室内的隔离开关必须在各相之间，安装耐弧的绝缘隔板。

8）允许用熔断器投切空载配电变压器和 66kV 及以下的站用变压器。

9）在 110kV 及以上中性点有效接地系统中，投运或停运变压器的操作，中性点必须先接地，投入后可按系统需要决定中性点是否断开。

今天问答题



1．变压器的工作原理是什么?

2．某水库新装了一台 7.5kW 的电动机、三台 15kW 的电动机，请问应选择多大容量的变压器?

3. 容量是 50kVA 的变压器,其高低压侧应该选择多大的熔丝?

4．简述变压器的投运及停运操作程序。

第 4 天

学习架空配电线路施工技术



上午（8:00 ~ 11:30）

4.1 架空配电线路的组成

架空配电线路是由电杆、绝缘子、导线、金具和拉线等组成的，如图 4-1 所示。

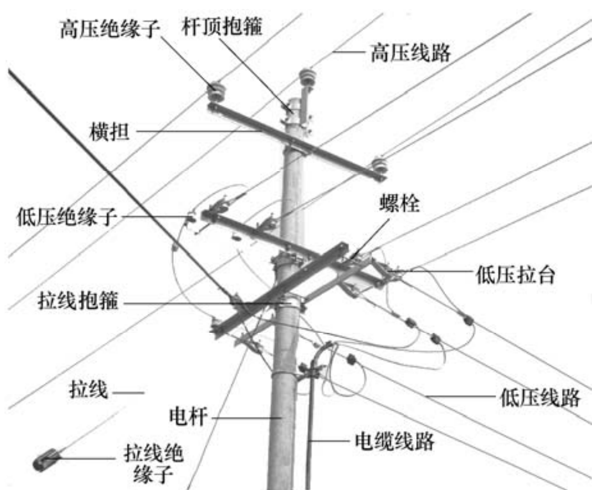


图 4-1　架空配电线路的组成

4.1.1　电杆

电杆是导线的支持物，使导线与导线、导线与大地、导线与障碍物之间保持一定的安全距离。电杆按材料的不同分为钢筋混凝土电杆（见

图 4-2）、钢管杆、木杆等，其不同的性能见表 4-1。



图 4-2　钢筋混凝土电杆

表 4-1　电杆按材料的分类

名　　称	优　　点	缺　　点	用　　途
木杆	质量轻、安装方便	机械强度低，易腐烂	目前已经较少使用
钢筋混凝土电杆	挺直、耐用、价格低廉，不易腐蚀	运输笨重	广泛应用于 110kV 及以下的电力线路中
钢管杆	机械强度大，使用年限长	消耗钢材量大，价格高、易生锈	用于居民区 35kV 或 110kV 及以上的线路中

钢筋混凝土电杆的规格及埋设深度见表 4-2。

表 4-2　钢筋混凝土电杆的规格及埋设深度

杆长/m	8	9	10	11	12	13
梢径/mm	150	150	190	190	190	190
底径/mm	257	257	323	337	350	363
埋设深度/mm	1400	1400	1700	1800	2000	2200
总重/kg	392	392	620	680	750	980

4.1.2　横担

横担是用来安装绝缘子、支持导线以及隔离开关等元件的。一般常用的横担有铁横担（见图 4-3）和瓷横担（见图 4-4）。



图 4-3　铁横担



图 4-4　瓷横担

4.1.3　导线

导线是用来传输电流的，应具有较好的导线性能、较高的机械强度和较强的耐腐蚀性。架空配电线路一般采用铝绞线或钢芯铝绞线（见图 4-5）。铝绞线的型号一般用字母 LJ 表示，如 LJ-35 表示导线截面积为 35mm^2 的铝绞线；钢芯铝绞线的型号用字母 LGJ 表示，如 LGJ-50 表示导线截面积为 50mm^2 的钢芯铝绞线。常用架空导线的规格见表 4-3。



图 4-5　钢芯铝绞线

表 4-3　常用铝绞线和钢芯铝绞线的规格

名　　称	标称截面积/mm^2	股数×直径/mm	导线外径/mm	质量/（kg/km）
LJ（铝绞线）	16	7×1.70	5.1	44
	25	7×2.12	6.4	68
	35	7×2.50	7.5	95
	50	7×3.00	9.0	136

（续）

名　　称	标称截面积/mm^2	股数×直径/mm	导线外径/mm	质量/（kg/km）
LGJ（钢芯铝绞线）	16	6×1.80	5.4	62
	25	6×2.20	6.6	92
	35	6×2.80	8.4	150
	50	6×3.20	9.6	196

4.1.4　绝缘子

架空线路绝缘子的作用是保证导线与电杆和其他支持结构间的绝缘，它必须具有高度的绝缘能力。导线是敷设在绝缘子上的，所以绝缘子还应具有足够的机械强度。

配电线路上常用的绝缘子有针式绝缘子、悬式绝缘子、蝶式绝缘子、拉线绝缘子。各种绝缘子的具体用途见表 4-4。

表 4-4　各种绝缘子的种类和用途

名　　称	实　物　图	用途及特点
针式绝缘子		常用于 10kV 以下线路直线杆上。绝缘子由瓷件和钢脚组成，瓷件和钢脚用胶合剂或螺纹连接成一整体
悬式绝缘子		能承受较大拉力，广泛用于 10kV 及以上线路的耐张、转角和终端杆上。悬式绝缘子由瓷件、铁帽和钢脚用水泥胶合剂胶合而成。按其金属附件连接方式分为槽型和球型两种，槽型连接的在产品型号后标有“C”（球型的不用字母表示），按使用地区分为正常区和污秽区用的两种，在产品型号中用“W”表示防污型绝缘子
蝶式绝缘子		用于线路终端、耐张及转角杆上，以及需要承受导线拉力的地方，由于其耐压性能差，不能单独作为线路绝缘元件使用，一般将它与悬式绝缘子相配合使用，作为金具的一个元件

（续）

名　　称	实　物　图	用途及特点
拉线绝缘子		用于线路终端、转角或大跨距电杆及拉线上，以张紧拉线或导线，并加固电杆，这种绝缘子仅供拉紧线作对地绝缘用，不作主绝缘体，以免因泄漏电流引起触电事故，按其结构分有蛋形、四角形柱体和八角形柱体三种

4.1.5　金具

架空配电线路使用的金具是安装导线、横担、绝缘子及拉线时使用到的铁件的总称（见图 4-6）。线路金具有几十种，作为电气工作人员必须能够熟练识别和应用。



图 4-6　线路中的金具

各种铁件的规格尺寸，应根据电杆的粗细、安全距离要求及当地电力部门的规定制作，为防止锈蚀，各种铁件均应进行热镀锌处理。

1．高压配电线路用金具

高压配电线路用金具包括铁横担、U 形抱箍、拉线抱箍、拉线棒以及各种螺钉等，如图 4-7 所示，它们的作用是将瓷绝缘子和拉线等固定在电杆上。

2．悬式瓷绝缘子用金具

图 4-8 所示为悬式瓷绝缘子用金具，包括耐张线夹、直角挂板、平行挂板、U 形挂环等。耐张线夹的作用是将导线连接在耐张绝缘子串上，分倒装式和正装式两种，以倒装式应用最多。

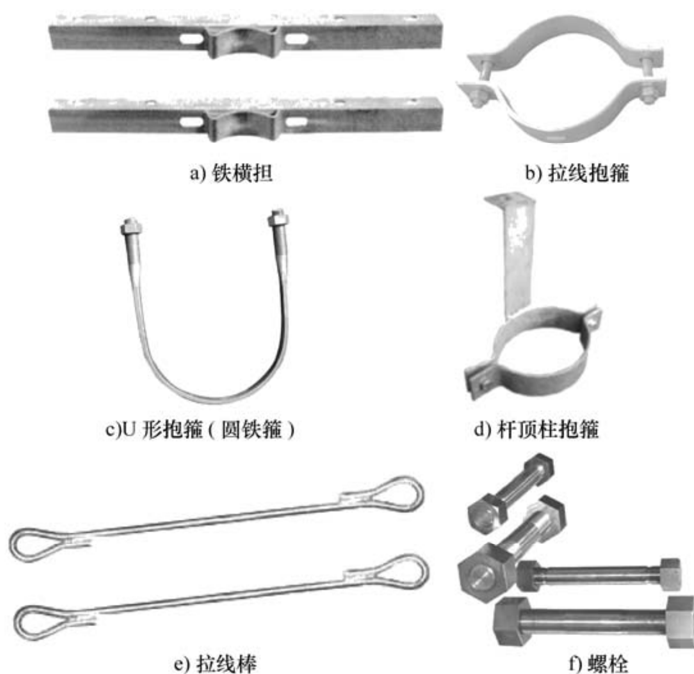


图 4-7　高压配电线路用金具



图 4-8　悬式瓷绝缘子用金具





g) 耐张线夹　　h) 并沟线夹

图 4-8　悬式瓷绝缘子用金具（续）

3．拉线金具

图 4-9 所示为常用的拉线金具，主要有钢线卡子、UT 形线夹、拉线 U 形环等，用于电杆拉线的紧固、调整及连接。



a) 楔形线夹　　b)UT 形线夹　　c) 心形环

d) 拉线 U 形环　　e) 钢线卡子

图 4-9　拉线金具

4．导线连接金具

图 4-10 所示为常用的导线连接金具，主要有钳接管和跨径线夹。钳接管主要用于导线档距中的导线连接，跨径线夹用于不承受拉力导线的连接。

5．线夹金具

图 4-11 所示为常用的线夹金具，线夹金具适用于耐张杆塔固定导线或避雷线。

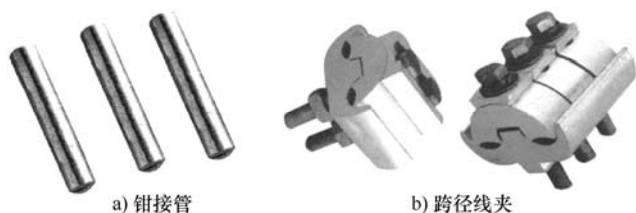


图 4-10　导线连接金具



图 4-11　线夹金具

4.2　架空配电线路的施工

架空配电线路的施工是电力建设中的重要环节，作为电工必须熟练掌握这一技术，本节将详细讲述架空配电线路的施工方法。

4.2.1　挖坑

挖坑分为挖杆坑和挖拉线坑两种。杆坑应按设计要求的桩位和电杆埋深进行挖掘。

4.2.2　杆基的加固

为了增强线路和电杆的稳定性，应对电杆的杆基进行加固。一般的方法就是先在电杆根部四周填埋一层深约 300～400mm 的乱石，在石缝中添足泥土捣实，然后再覆盖一层 100～200mm 厚的泥土并夯实，直至



与地面齐平，如图 4-12 所示，这种方法多用于直线杆。

对于装有变压器和开关等设备的承重杆、跨越杆、耐张杆、转角杆、分支杆和终端杆等，或土质过于松软的电杆，可采用在杆基安装底盘的方法来减小电杆底部对土壤的压强，以加强电杆对下沉力的承受能力。底盘一般用石板或混凝土制成，也有的采用在杆坑底部用石块底盘并灌浇混凝土的方法。底盘的形状和安装方法如图 4-13 所示。

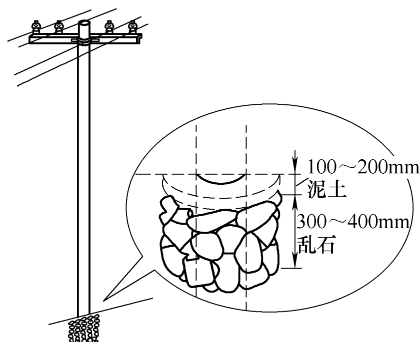


图 4-12　杆基的加固

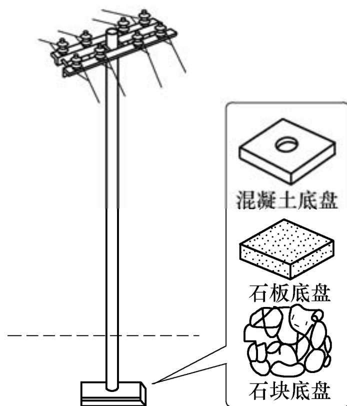


图 4-13　底盘的安装

4.2.3　电杆的组装

在立杆之前，应尽量将电杆顶部上的横担、瓷瓶、金具等组装完毕，然后整体立杆，这是因为在地面上工作比在杆上省力、省时间。在组装前，应把电杆放在便于组装、便于立杆的地方。

1．直线杆的组装

直线杆的组装相对比较简单，首先应把电杆移动到立杆时的位置，杆尾指向杆基坑位置，在有马道时应在马道侧，杆头指向线路方向，并将杆头部位用枕木支起 20cm 左右，现场多用锥土法支杆。然后对照杆型图和杆号，将高压杆头（单绝缘子抱箍或双绝缘子抱箍）装在杆顶上，角钢立铁应位于杆的侧面（单绝缘子）或位于杆的左右侧面（双绝缘子），角钢立铁的中线应与杆的中心面重合，如图 4-14 所示。同时丈量尺寸（必须用盒尺）确定横担的位置，再把 U 形抱箍套入，同时将横担从杆的上面使 U 形抱箍穿入螺孔，最后将螺母加垫拧好。其横担应与杆的中心线垂直，调整找正后再把螺母紧死。最后把针式绝缘子或悬垂装上，悬垂的

连接必须用连接金具，组装后立杆前应将悬垂绑紧。

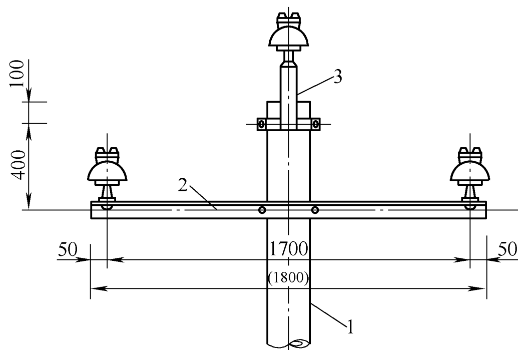


图 4-14　10kV 直线杆组装示意图

1—钢筋混凝土电杆　2—角钢横担　3—抱箍　4—抱铁（图中未画出）

2．耐张杆、转角杆和分支杆的组装

耐张杆、转角杆和分支杆的组装，同样应先把杆移到立杆时的位置，把杆头抬起约 1.5m 的高度（大于横担长度一半即可），并用木支架将其支好，支点同前，且不宜少于两处，然后对照杆型图和杆号，将横担装好，上下横担交叉的角度必须与线路转角的角度相同，如图 4-15～图 4-17 所示。

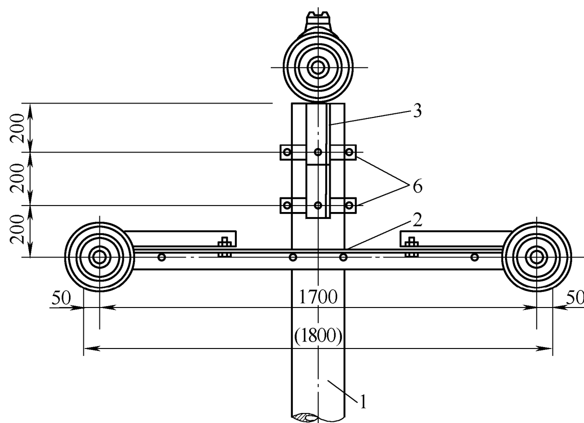


图 4-15　10kV 耐张杆组装示意图

1—钢筋混凝土电杆　2—角铁横担　3—立铁　4—连铁（图中未画出）

5—横铁（图中未画出）　6—抱箍



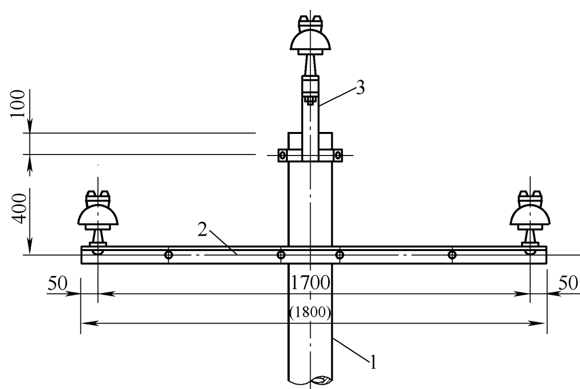


图 4-16　10kV 转角杆组装示意图

1—电杆　2—横担　3—立铁

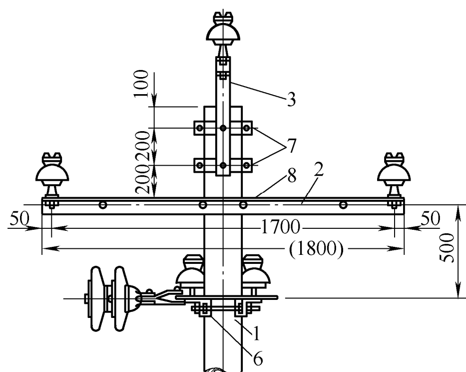


图 4-17　10kV 分支杆组装示意图

1—钢筋混凝土电杆　2—角铁横担　3—立铁　4—连铁（图中未画出）

5—拉板（图中未画出）　6—抱铁　7—单凸抱箍　8—抱箍

4.2.4　立杆及埋杆

1．立杆时的安全要求

立杆工作必须注意施工安全，立杆前，应对电杆进行检查，严禁使用不合格的电杆。立杆时要设专人统一指挥。开工前，应讲明施工方法及信号。工作人员要分工明确，密切配合，服从指挥，参加人员都应遵守有

关的安全规定。在居民区和交通要道上立杆，应设专人看守。

立杆时要使用合格的起重、支撑设备和拉绳。使用前应仔细检查，必要时应进行实际试验。使用方法应正确，严禁过载使用。

立杆过程中，杆坑内和杆下严禁有人工作或走动，除指挥人员及指定工作人员外，其他人员必须离开距离电杆 1.2 倍杆高的距离。立杆及修正杆坑时，应采取防止杆身滚动、倾斜的措施，如采用叉杆和拉绳控制等。

立杆的方法很多，常用的有架杆立杆法和抱杆立杆法两种，如果交通方便，采用吊车直接吊立则更为安全方便。

2．架杆立杆法

架杆立杆法的操作步骤如图 4-18 所示。

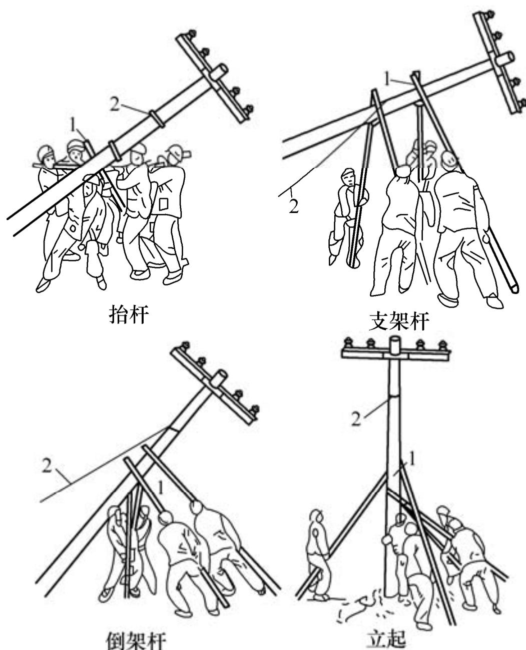


图 4-18　架杆立杆法

1—架杆　2—临时拉绳

3．抱杆立杆法

抱杆立杆法在实际工作中应用较广，如图 4-19 所示，先用两根直径



为 100～150mm、长为 7～8m 的木杆做成抱杆，利用杆顶帽将两根抱杆连好，就成了“人”字形抱杆，如果没有杆顶帽，也可用合格的麻绳拴住。抱杆在杆坑附近立起后，两腿间的距离约为 2.5m，同时稍向前倾斜，顶部垂直杆坑的中心位置，这样容易使电杆吊起后垂直落入杆坑内。

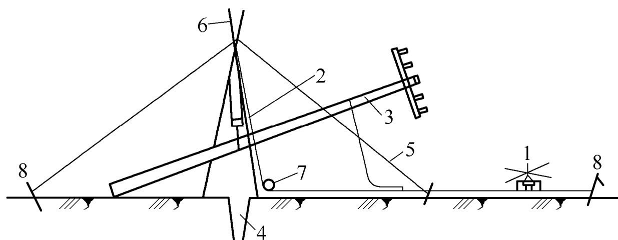


图 4-19　抱杆立杆法

1—绞磨　2—滑轮组　3—电杆　4—杆坑　5—钢丝拉绳　6—固定抱杆　7—引导滑轮　8—钢钎

4．吊车立杆法

吊车立杆法效率高、较安全，因此在条件合适的地方尽量采用吊车立杆法。

立杆时先把吊车开到距坑适当位置加以稳固，然后在电杆（从根部量起）1/2～2/3 处接一根起吊钢丝绳，再在杆顶向下 50cm 处临时接三根调整绳。吊起时坑边站两人负责电杆根部进坑，另有三人各扯一根调整绳，站成以坑为中心的三角形。由一人负责指挥。当杆顶吊离地面 1m 时，对各处绑扎的绳口进行一次安全检查，确认安全后再继续起吊。

电杆竖起后要调置于线路中心线上，电杆中心与线路中心偏差不应超过 5cm。直线杆中心应垂直，其倾斜度不应大于电杆梢径的 1/4。承力杆应向承力方向倾斜，其倾斜度不应大于梢径的 1/4。

5．埋杆

当电杆竖起并调整好后，即可用铁锨沿电杆四周将挖出的土填回坑内，回填土时，应将土块打碎，并清除土中的树根、杂草，必要时可在土中掺一些块石。每回填 0.5m 土时，就夯实一次。对于松软土质，则应增加夯实次数或采取加固措施。夯实时，应在电杆的两侧交替进行，以防电杆的移位或倾斜。

回填土后的电杆基坑应设置防土层。土层上部不宜小于坑口面积，土层高度应超出地面 0.3m。



下午（13:00 ~ 17:30）

4.2.5　安装拉线

拉线是保证架空配电线路稳定运行的关键，正确、合理地安装拉线是保证架空配电线路顺利施工以及日后安全运行的基础，所以电工必须熟练掌握拉线的制作、安装技能。

1．拉线的种类

拉线的种类分为以下几种（见图 4-20）：

1）普通拉线。用于终端杆、转角杆和分支杆，装设在电杆受力的反面，用以平衡电杆所受导线的单向拉力。对于耐张杆则在电杆顺线路方向前后设拉线，以承受两侧导线的拉力。

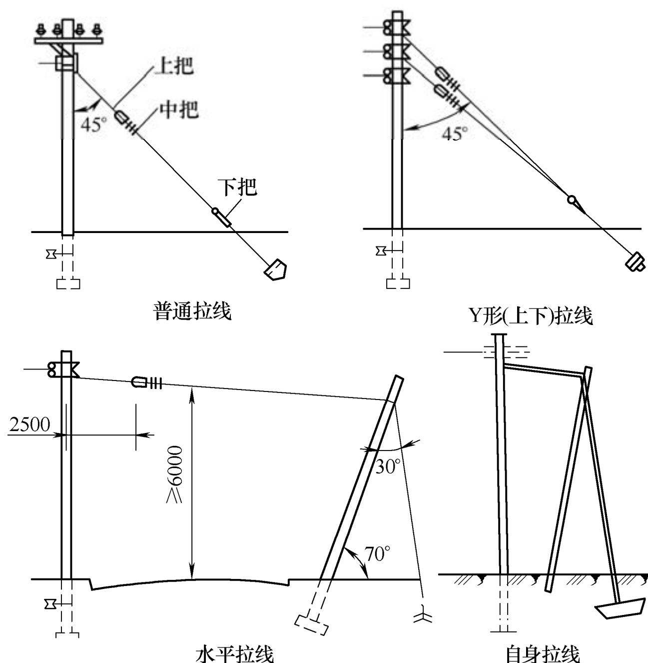


图 4-20　拉线的种类



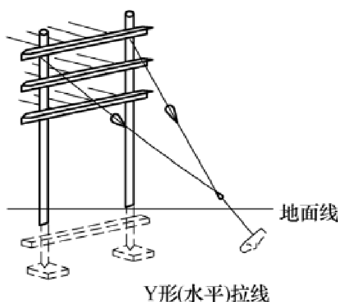


图 4-20　拉线的种类（续）

2）侧面拉线。侧面拉线即人字拉线，用于交叉跨越和耐张段较长的线路上，以便使线路能抵抗横线路方向上的风力，因此有时也叫做风雨拉线或防风拉线，每侧与普通拉线一样。

3）水平拉线。用于拉线需要跨越道路或其他障碍时的拉线，因此也叫做拉桩拉线。

4）自身拉线。用于地面狭窄、受力不大的杆上。

5）Y 形上下拉线。用于受力较大或较高的杆上。

2．拉线的材料

制作拉线的常用材料是钢绞线，有时也用ϕ3.2～ϕ4mm 多股镀锌铁丝制作。

3．拉线截面积的选择

立起电杆，架设导线之前，先在终端杆、转角杆和耐张杆上做好拉线。拉线最好采用镀锌钢绞线制作，截面积不应小于 25mm^2。各种类型拉线的截面积选用见表 4-5。

表 4-5　各种规格拉线的截面积选用

每层横担导线数量	2				4				5			
受拉侧横担条数	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
适应拉线类型	普通型		V 形		普通型		V 形		普通型		V 形	
架空导线截面积/mm^2	钢绞线的拉线截面积/mm^2											
16～25	GJ-25		GJ-25×2		GJ-25		GJ-25×2		GJ-35		GJ-35×2	
35	GJ-25		GJ-25×2		GJ-35		GJ-35×2		GJ-35		GJ-35×2	
50～70	GJ-25		GJ-25×2		GJ-35		GJ-35×2		GJ-35		GJ-35×2	
95～120	GJ-25		GJ-25×2		GJ-50		GJ-50×2		GJ-50		GJ-50×2	

4．拉线的长度与角度

根据拉线承力的大小，拉线与电杆的夹角有 45°和 30°两种。一般承力电杆拉线采用 45°，跨越杆和直线杆的辅助拉线采用 30°。拉线的长度，应根据拉线的高度和角度计算出拉线的净长度，然后减去拉线棒在地面以上的长度，最后再加上拉线两端的绑扎长度。不同杆高和角度的拉线长度见表 4-6。

表 4-6　拉线长度

拉线长度/m \ 杆高/m \ 拉线角度	6	8	10	12	14
45°	9.0	12.0	14.7	17.5	20.30
30°	7.5	9.8	12.0	14.4	16.7
30°拉线时，电杆与拉线坑距离	3.5	4.6	5.8	7.0	8.00

在施工中，为了便于携带和减少在野外的工作量，可预先将拉线截好，并注明拉线的长度、杆号和位置，以免混淆。

5．拉线的安装

拉线安装的基本操作包括埋设拉线盘（地锚）、制作拉线上把、制作拉线下把、安装拉线绝缘子、收紧拉线做中把五个步骤。

（1）埋设拉线盘（地锚）

目前普遍采用圆钢拉线棒制成拉线盘，它的下端套有螺纹，上端有拉环，安装时拉线棒穿过水泥拉线盘孔，放好垫圈，拧上螺母即可，如图 4-21 所示。



图 4-21　拉线盘（地锚）

拉线盘选择及其埋设深度，以及拉线底把所采用的镀锌铁线和镀锌钢绞线与圆钢拉线棒的换算关系见表 4-7。

表 4-7　拉线盘的选择及埋深

拉线所受张力/（$\times10^4$N）	选用拉线规格		拉线盘规格/m	拉线盘埋深/m
	ϕ4mm 镀锌铁线（股数）	镀锌钢绞线/mm^2		
1.5 以下	5 以下	25	0.6×0.3	1.2
2.1	7	35	0.8×0.4	1.3
2.7	9	50	0.8×0.4	1.5
3.9	13	70	1.0×0.5	1.6
5.4	2×9	2×50	1.2×0.6	1.7
7.8	2×13	2×70	1.2×0.6	1.9

下把拉线棒装好后，将拉线盘放正，使底把拉环露出地面 500～700mm，随后就可以分层填土夯实。填土时，要使用含水不多的干土，最好夹杂一些石子石块，拉线棒地面上下 200～300mm 处都要涂上沥青，泥土中含有盐碱成分较多的地方，还要从拉线棒出土 150mm 处起，缠绕 80mm 宽的麻带，缠到地面以下 350mm 处，并浸透沥青，以防腐蚀。涂沥青和缠麻带，都应在填土前做好。

（2）制作拉线上把

装在混凝土电杆上的拉线上把，须用拉线抱箍及螺栓固定。其方法是用一只螺栓将拉线抱箍抱在电杆上，然后把预制好的上把拉线环放在两片抱箍的螺孔间，穿入螺栓，拧上螺母固定，如图 4-22a 所示。

制作好的拉线上把如图 4-22b 所示，把上把两端密缠绕处的中间稀疏地缠绕 1～2 箍，俗称“花绑”。

（3）制作拉线下把

拉线下把的制作是将拉线下部的上端折回约 1.2m，弯成环形，嵌进下把拉线棒的拉环内，并使其紧靠拉环，然后用自缠法或另缠法缠绕 150～200mm。

（4）安装拉线绝缘子

拉线绝缘子一般在上把与中把之间，绝缘子离地面的高度及对电杆的距离都不应小于 2.5m，以防行人触电和杆上工作人员触及接地。

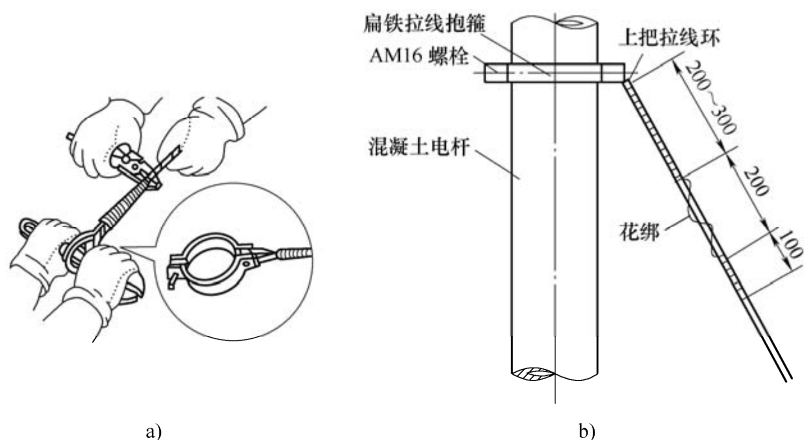


图 4-22　拉线上把的制作

先由一人将拉线绝缘子握在手中，再由一人将拉线上把的线束，从拉线绝缘子线槽内绕过来，在距端头 1.2m 的位置弯曲，形成约两倍绝缘子长的环形，调整使其线束整齐、严密。然后将每股上把铁线分散钳直，先扳起一股铁线，按顺时针紧缠 5 圈后剪去余端，再扳起一股铁线，依次缠绕完毕。

（5）收紧拉线做中把

在收紧拉线前，先将花篮螺栓的两端螺杆旋入螺母内，使它们之间保持最大距离，以备继续旋入调整。然后将紧线钳的钢丝绳伸开。一只紧线钳夹握在拉线高处，再将拉线下端穿过花篮螺栓的拉环，放在三角圈槽里，向上折回，并用另一只紧线钳夹住，花篮螺栓的另一端套在拉线棒的拉环上。然后慢慢将拉线收紧，紧到一定程度时，检查一下杆身和拉线的各部位，如无问题后，再继续收紧，把电杆校正。

为了防止花篮螺栓螺纹倒转松退，可再用一根ϕ4mm 的镀锌铁线，两端从螺杆孔穿过，在螺栓中间绞拧两次，再分向螺母两侧绕 3 圈，最后将两端头自相扭结，使调整装置不能任意转动。

4.2.6　导线的安装

1．放线

如果线路不长，导线的重量不大时，把导线背在肩上或挎在胳膊上，



边走边放就行了。如果线路较长，导线成捆地缠在线盘上，就要用放线架或挖坑放线，如图 4-23 所示。

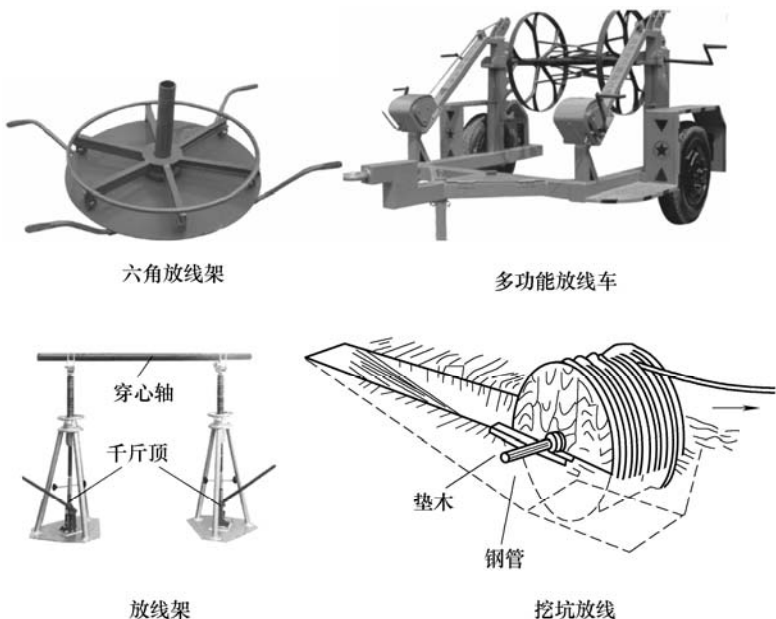


图 4-23　常用放线设备

放线时应注意，导线不得有硬弯、扭鼻、松股、背股和擦伤等缺陷。当导线断一股或有局部擦伤时，应用同规格的单股导线补强，绑扎牢固。当 7 股导线断 2 股或多股导线断 1～5 股时，应断开重接。在一个档距内，只允许有一个接头，而且接头处与绝缘子的距离不得小于 0.5m。不同型号、不同绞向的导线，禁止连接。在跨越铁路、公路、河流、通信线路等时，不应有接头。

2．挂线

挂线工作比较简单，将放在地面上的导线挂到电杆的横担上即可。线路不长时，可将导线直接挂在瓷绝缘子或瓷横担上，注意不要直接挂在铁横担上，以免擦伤导线。若导线的距离较长，导线截面积又较大时，就应利用放线滑子挂线，先将滑子挂在横担上，然后将导线放入滑子内。一般是边放边挂线，放一档挂一档，放线和挂线的工序同时完成。

3．紧线

紧线以耐张段为单位进行。紧线前，应将两端耐张杆的拉线做好。先将导线的一端固定在耐张绝缘子串或低压线路的茶台上，然后在线路另一端的耐张杆上紧线。紧线时，可用人力拉线，也可通过一个滑轮，用汽车或绞磨拉紧，也可在导线收紧到一定程度后，再用紧线器紧线。使用紧线器时应注意钳口不要伤线。紧线时要平稳用力，防止导线上下翻动。

为防止紧线时横担扭转或扭偏，紧线时三相线路应先紧中相，后紧两边导线；三相四线制线路应先紧贴近电杆的两根导线，后紧两边相线。

导线的收紧程度，由导线的弧垂来决定。具体做法是，在耐张段的中部，选择电杆登高的档距，根据导线型号、档距长短、气温高低，来确定弧垂的大小。

4．绑线

紧好线后应把导线牢固地绑在瓷瓶上，为了防止铝线磨损，在绑扎处应均匀地缠上一层铝包带（见图 4-24a）以保护导线，铝包带的绑扎长度以两端各伸出 20mm 为宜，包缠时铝带应排列整齐、紧密、平服，前后圈之间不可压叠，裸铝线绑扎保护层缠绕方法如图 4-24b 所示。

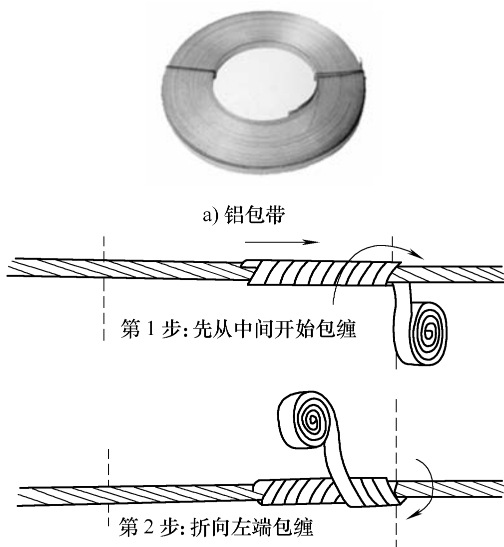
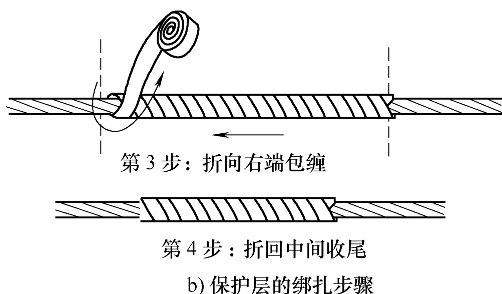


图 4-24　铝包带及裸铝导线绑扎保护层的方法





b) 保护层的绑扎步骤

图 4-24　铝包带及裸铝导线绑扎保护层的方法（续）

架空导线在绝缘子上的绑扎方法因绝缘子形状和安装地点的不同而异，常用的有顶绑法、侧绑法和终端绑扎法及耐张线夹固定导线法等。

（1）顶绑法

首先把导线嵌入绝缘子顶部的嵌线槽内，先将扎线在导线右边近绝缘子处绕 3 圈，再将扎线长端按顺时针方向从绝缘子颈槽中绕到导线左边内侧，在贴近绝缘子处导线上缠绕 3 圈，然后按顺时针方向从绝缘子颈槽绕到导线右边外侧，再在原 3 圈外侧导线上缠绕 3 圈，再回到导线左边，重复上述步骤，最后将扎线在顶槽两侧围绕导线扎成 X 形，压住顶槽导线，完成上述操作后，如图 4-25 所示。

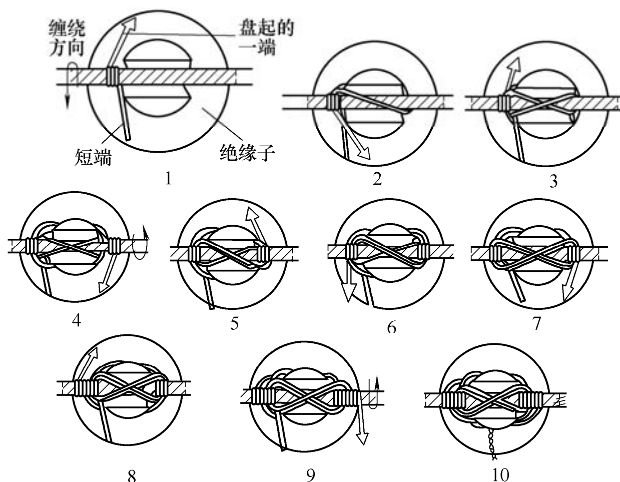


图 4-25　顶绑法分解图

（2）侧绑法

侧绑就是把导线绑在绝缘子的侧面，这种绑法适用于小转角杆和直线杆，对于小转角杆，导线应绑在转角外侧，对于直线杆，导线应绑在靠电杆的一侧，以便施工，其绑扎方法是，先将绑线短端在贴近绝缘子处的导线右边缠绕 3 圈，再与绑线长端互绞 6 圈，并把导线放入绝缘子颈部的嵌线槽内，一手把导线扳紧在嵌线槽中，另一手将绑线长端从绝缘子背后紧紧地围绕到导线左下方，然后再从导线的左下方围绕到导线的右上方，绕绝缘子一圈后再从导线左上方，绕到导线右下方，使绑线在导线上形成 X 形的交绑状，最后把绑线长端贴近绝缘子紧缠导线 3 圈，与绑线短端紧绞 6 圈，剪去余端，其分解步骤如图 4-26 所示。

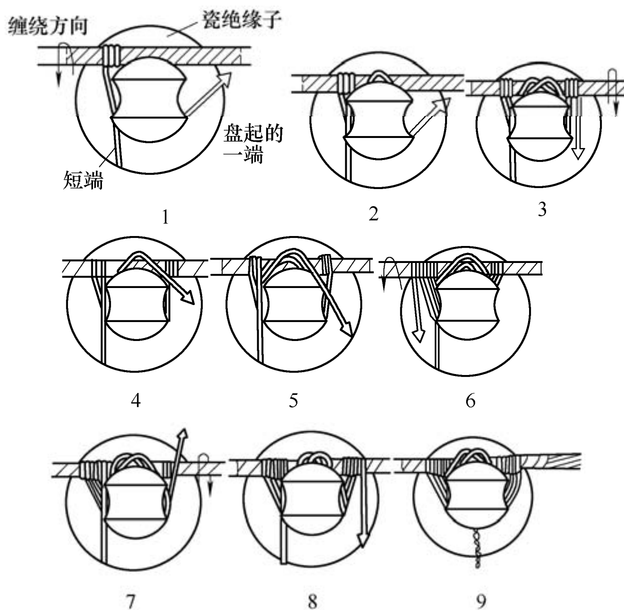


图 4-26　侧绑法分解图

（3）终端绑扎法

先将绑线挂在导线上，然后用绑线长端紧缠导线 5 圈，缠绕开始的位置与绝缘子中心线的距离为两导线间距的 3 倍，这时再将绑线短端压在缠好的 5 圈上面，然后用绑线长端压着短端缠 5 圈，第四步就是用绑线在



不压短端的导线上缠 5 圈，再在压着短端的导线上缠 5 圈，然后把导线末端折回，最后用绑线长端在导线弯头后面压着短端在导线上缠 5 圈，将绑线的长、短端拧在一起，终端绑扎法的分解如图 4-27 所示。

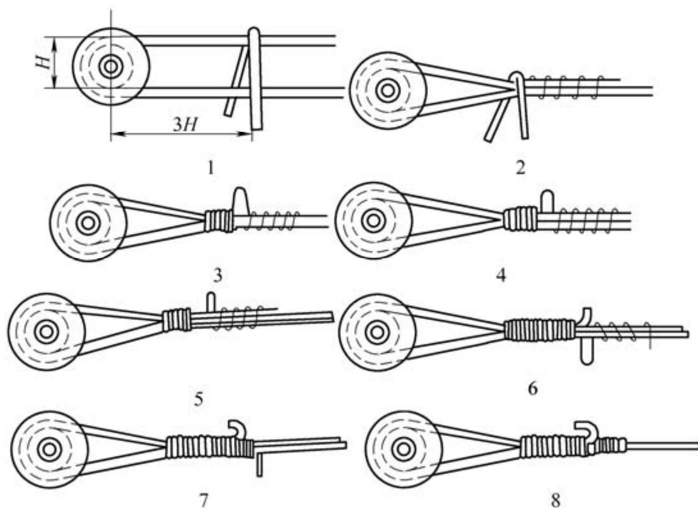


图 4-27　终端绑扎法图解

（4）耐张线夹固定导线法

先用紧线器收紧导线，使弛度比要求的弛度稍小些；再将铝导线的缠绕部分用铝带包缠保护层，包缠方法如图 4-24b 所示；第三步是卸下耐张线夹的全部 U 形螺栓，将导线放入线夹的线槽内，使导线包缠部分紧贴线槽，这时装上压板和 U 形螺栓，先将全部螺母初步紧固一遍，待检查无误后再按图 4-28 所示的顺序分数次拧紧螺母，使其受力均匀不碰不歪。

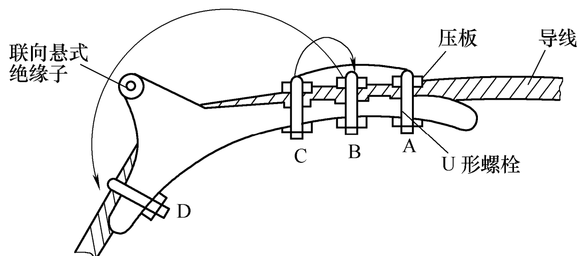


图 4-28　耐张线夹固定导线法

（5）导线的连接

1）钳压管压接法。

钳压管压接法适用于档距内的铝绞线、钢芯铝绞线接头的连接。压接时，要根据导线型号选用相应型号的压膜和压接管。统一规格的铝绞线和钢芯铝绞线所用的钳压管的规格大小不同，两者不能混用。压接钳的压接步骤如图 4-29 所示。

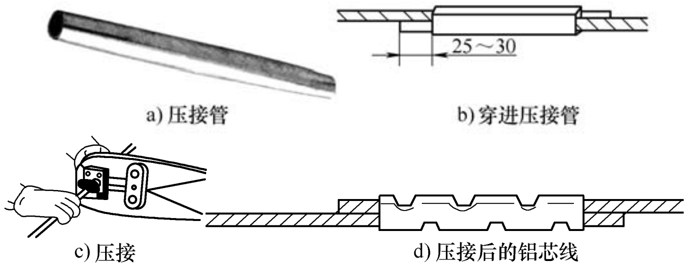


图 4-29　压接钳的使用

导线在压接前，应先用钢丝刷把导线表面和钳压管内壁的污物及氧化层清除干净，将导线头用细铁丝绑好，将导线头表面和氧化层清除干净，将导线头与细铁丝绑好。将导线头表面和钳压管内壁涂上一层中性凡士林。再将两根导线的端头从钳压管的两头穿入管中，导线端头露出压管长度不应小于 20mm。然后在钳压管上画出压口数量、压口与压口之间的距离以及压口顺序。按照压接顺序一个压口一个压口地压。每压完一个坑口，应停留 1min 后再松开压模，并检查压坑深度，压坑深度应符合表 4-8

表 4-8　导线的压坑深度及压坑数量

导线截面积/mm^2	铝　绞　线				钢芯铝绞线			
	压前外大直径/mm	压后压口外径/mm	压坑数量	压坑深度/mm	压前外大直径/mm	压后压口外径/mm	压坑数量	压坑深度/mm
16	15.4	10.5	6	4.9	—	—	—	—
25	17.8	12.5	6	5.3	—	—	—	—
35	20.4	14	6	6.4	23.2	17.5	14	5.7
50	23.4	16.5	8	6.9	26.6	20.5	16	6.1
70	26.6	19.5	8	7.1	31.2	25	16	6.2
95	30.2	23	10	7.2	36.2	29	20	6.2



的规定，压坑符合要求后再压下一个坑口。如压坑太深会损伤导线，如压坑太浅会造成压接不牢，导线受力后会被抽出。压坑的位置、顺序一定要正确。压接后，钳管弯曲度不应大于管长的2%，否则应校直。钳压管不应有裂纹，两端头附近的导线不应有变形现象。

2）导线的搭接法。

搭接法又叫做绑接法，用于铝绞线、铜绞线的跳线（弓子线）连接。连接时，应使用并沟线夹来连接，而不是用绑接法。用小型并沟线夹把分支线头末端与干线进行绑扎的方法，如图 4-30a 所示。对导线截面积在 75mm^2 以上的，需用两副大型并沟线夹，大型并沟线夹如图 4-30b 所示，两副并沟线夹应保持在 300～400mm 之间。

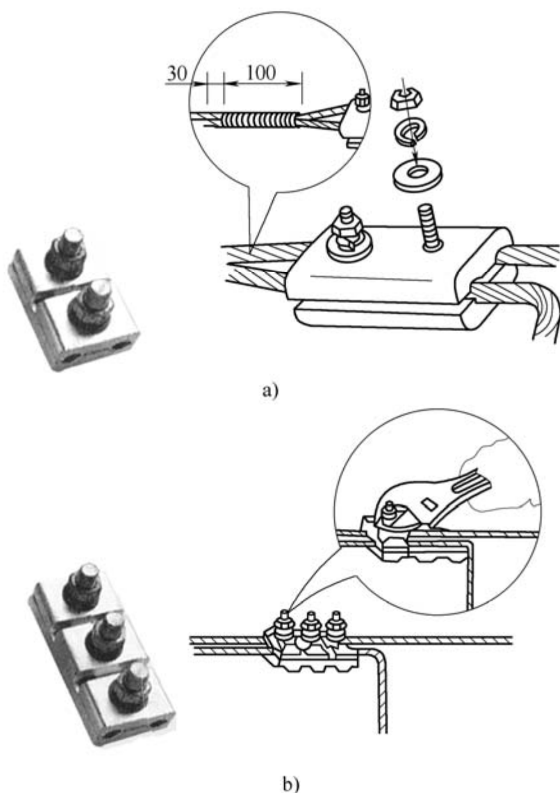


图 4-30　并沟线夹的安装方法

在安装并沟线夹以前，应在线夹部位表面和导线表面先涂上一层凡士林锌膏粉（或中性凡士林），接着用钢丝刷在凡士林锌膏粉的部位刷去表面氧化层，再用清洁的纱团擦净，并立即再涂上一层薄薄的凡士林锌膏粉，然后进行压接，压接时，应在每个压接螺钉上套垫弹簧垫圈，以防松散。

3）导线的叉接法。

叉接法也可用于连接档距内的导线连接，其接头长度不应小于 250mm。一般用于连接 LJ-35 及以上的导线。其连接方法如图 4-31 所示。其操作方法是：将导线接头长度的一半按反方向绞拧开并拉直，使之均匀地交叉在一起，如图 4-31 第一步所示。再用绑线在中间缠绕 50mm，如图 4-31 第二步所示。再用导线本身的单股线向两端逐步缠绕；一股缠完，将余下的尾线压在下面；再用另一股缠绕，直至缠绕完为止，如图 4-31 第三步所示。全部缠绕完毕后的插接接头如图 4-31 第四步所示。导线截面积在 50mm^2 以下的，其缠绕部分总长度一般为 200～300mm。最后一股缠绕完后，应与前边压住的线头拧成小辫收尾。接头连接好后，应涂上中性凡士林油，以减少氧化。

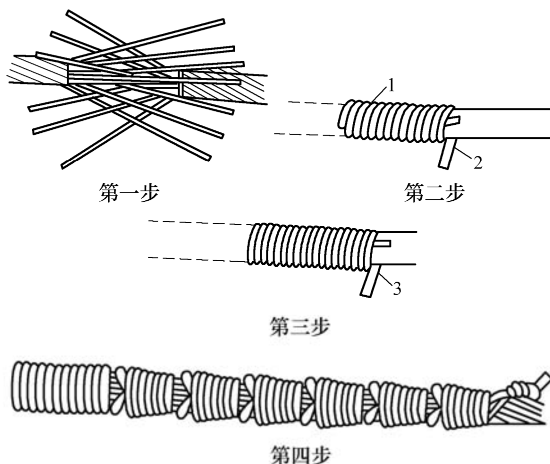


图 4-31　导线叉接法

1—绑线缠绕 50mm　2—导线本身的绞线缠绕　3—另一股导线本身绞线缠绕



4.3 架空配电线路的运行维护

1）架空配电线路必须定期巡视，发现线路上有杂物时，可以用绝缘棒清除，清除时要防止碰线，以免造成相间短路。

2）线路上的金具必须定期紧固，比如收紧拉线、紧固杆上抱箍、横担和绝缘子上的螺母等。

3）有损伤的绝缘子必须及时更换，重新扎紧绝缘子上松动的导线。

4）定期清除绝缘子上的尘垢。

5）及时校正倾斜的电杆和横担等。

今天问答题



1．架空配电线路主要由哪几部分组成?

2．架空配电线路路径的设计有哪些基本要求?

3．怎样确定拉线位?

4．运输水泥电杆时应注意哪些事项?

5．架杆立杆法的操作步骤是什么?

6．拉线的长度和角度怎样确定?

7．请认真练习架空配电线路在绝缘子顶部的绑扎方法（也就是顶绑法)。

8．请认真练习架空配电线路的终端绑扎法。

9．请认真练习架空配电线路的耐张线夹固定导线方法。

第 5 天

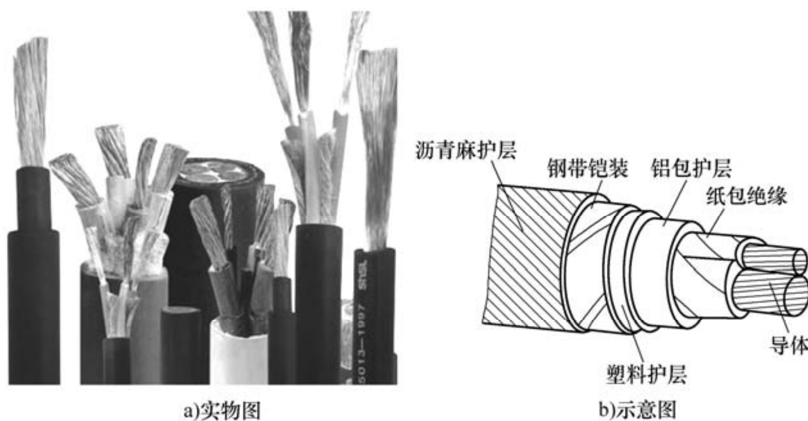
学习电缆线路施工技术



上午（8:00～11:30）

5.1　电缆的结构

电缆一般是由导电线芯、绝缘层和保护层三个主要部分组成的，如图 5-1 所示。



a)实物图　　b)示意图

图 5-1　电缆的基本结构

5.2　电缆预埋件配合土建工程的安装

配合土建工程安装电缆预埋件是电缆施工的第一步，一般应该在土建工程的土方工程结束后、砌筑基础工程刚开始时，电气安装人员即应进



入施工现场，配合土建施工。

5.2.1 电缆引入（或引出）管的敷设

电缆引入（或引出）管的敷设，如图 5-2、图 5-3 所示。

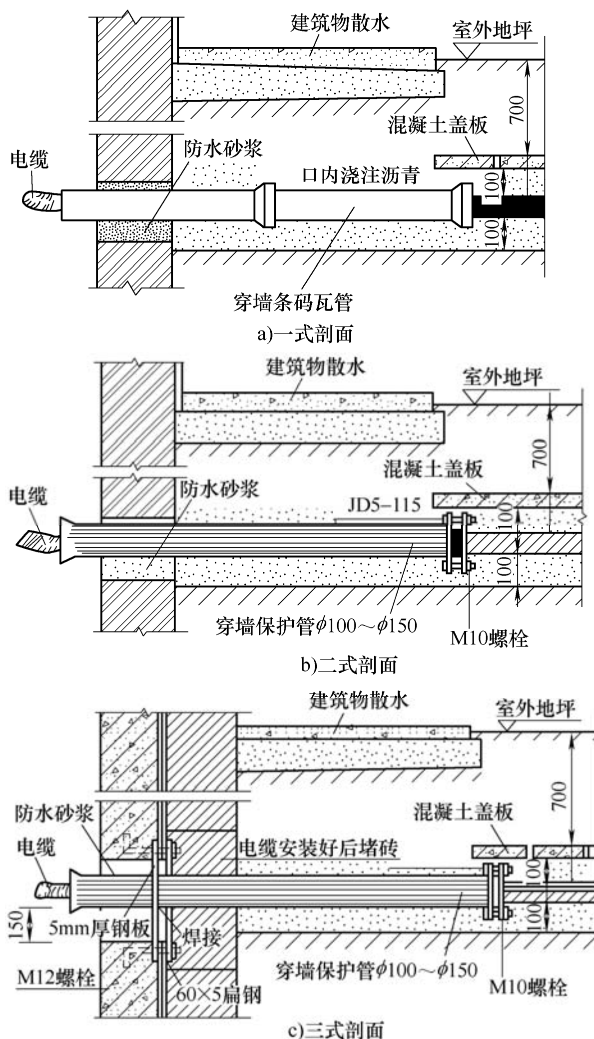


图 5-2 电缆引入（或引出）管的敷设方式（剖面图）

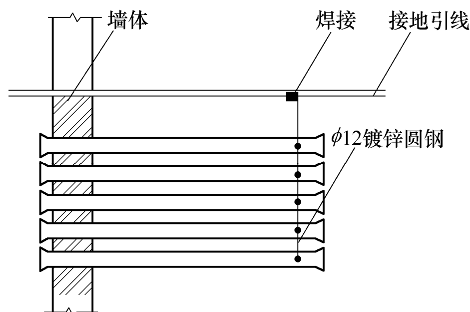


图 5-3　电缆引入（或引出）管的敷设平面图

1）电缆引入管敷设的标高一般在平面图所标注的进户位置的−0.8m 处，先明确引入电缆的根数和规格，并从加工好的电缆管中按编号取出电缆引入管。通常电缆保护管的内径不应小于电缆外径的 2 倍，电缆引入管的长度应为墙厚+建筑物散水宽+300mm。

2）下管工艺方法及要求。基础或墙砌到标高−0.8m 时，在已确定的电源进户管的位置上，由室外垂直基础或墙画一条直线，并按线刨一条深 0.8m 的沟，沟宽由管的根数而定，长度为散水宽+500mm；然后将电缆引入管置于沟内，多根时应并排放置，墙内应出墙 100mm，且偏高一点，坡度为 2%；引入管落在基础或墙的部分要用防水砂浆灌满，使其严实。墙外部分先用水泥袋、塑料布堵好管口，然后填土并夯实，如图 5-4 所示。

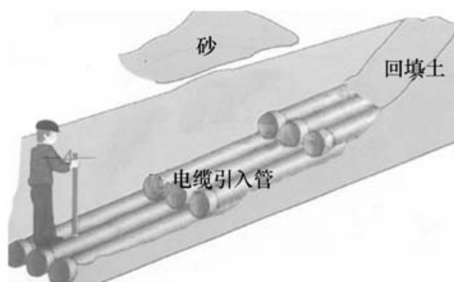


图 5-4　电缆引入管的回填

5.2.2　电缆支架、托臂的安装

电缆支架、托臂配合土建工程的安装方法如图 5-5、图 5-6 所示。





图 5-5　施工中的电缆支架、托臂

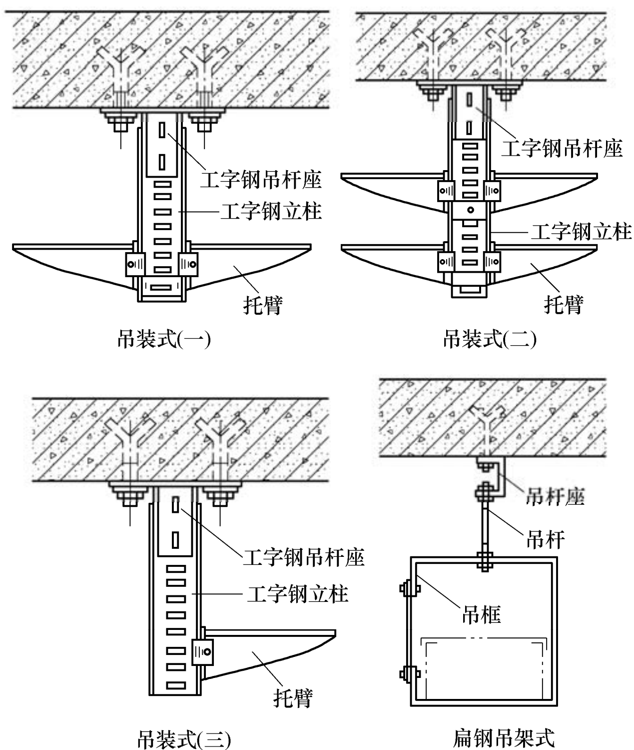


图 5-6　各种电缆支架、托臂的安装方法

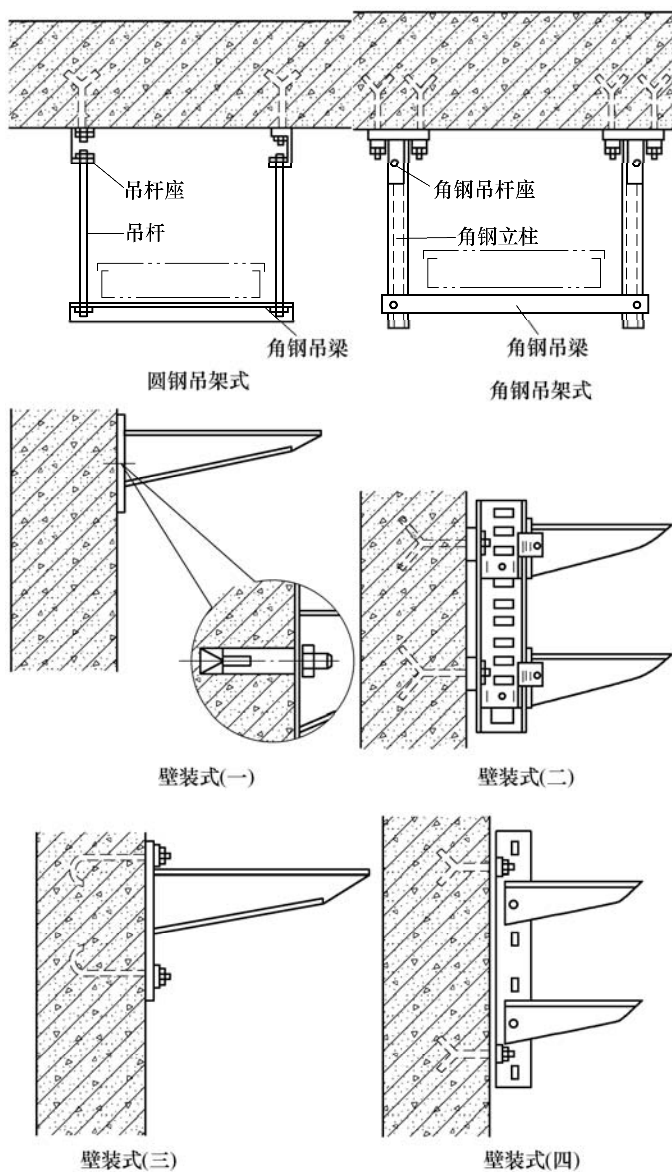


图 5-6　各种电缆支架、托臂的安装方法（续）



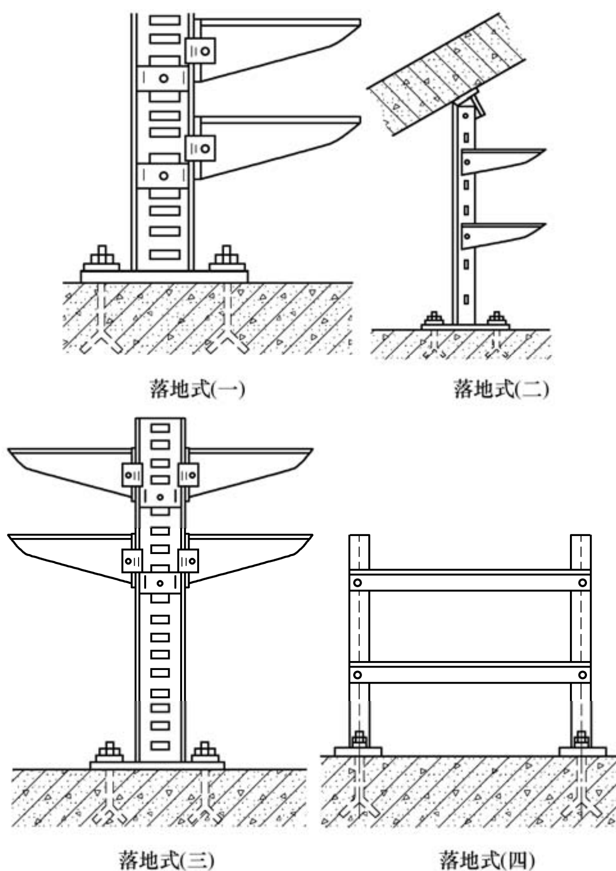


图 5-6　各种电缆支架、托臂的安装方法（续）

5.3　电缆线路的直埋敷设

电缆的直埋敷设的优点是经济方便，而且电缆埋在地下有利于散热，缺点是不利于检修和监护。

5.3.1　电缆沟的挖掘

1．挖电缆沟样洞

按施工图在电缆敷设线路上开挖样洞，以了解土壤和地下管线布置

情况。如有问题，及时提出解决办法，以便最后确定电缆的走向。样洞长为 0.4～0.5m，宽与深各为 1.0m。在直线段每隔 40m 开挖一个样洞。在线路转弯处、交叉路口和有障碍物的地点也应开挖样洞。

2．放样画线

沿电缆线路的实际走向，用石灰粉画出电缆沟的开挖宽度和路径。电缆沟的开挖宽度根据表 5-1 确定，沟深一般为 0.8m。如遇特殊情况，沟深可适当加大。电缆转弯处应挖成圆弧形，以保证电缆有足够的转弯半径。挖掘电缆沟可采用人工或机械掘进，但一定要注意施工的安全。图 5-7 所示为挖掘好的电缆沟。

表 5-1　电缆沟开挖宽度　　（单位：mm）

控制电缆根数 / 电缆沟开挖宽度 / 10kV 及以下电力电缆根数	0	1	2	3	4	5	6
0	—	350	380	5140	640	770	900
1	350	450	580	710	840	970	1100
2	550	600	780	860	990	1120	1250
3	650	750	880	1010	1140	1270	1400
4	800	900	1030	1160	1290	1420	1550
5	950	1050	1180	1310	1440	1570	1800
6	1120	1200	1330	1460	1590	1720	1850

注：壕沟转弯 90°或 120°时，转弯处宽度应按表中所示值加大 200mm。



图 5-7　挖掘好的电缆沟

3．铺设下垫层

在沟底铺上约 100mm 厚筛过的软土或细砂层作为电缆下面的垫层，软土或细砂中不能含有石头或其他坚硬杂物。

4．埋设电缆保护管

电缆与道路、管道或其他设施交叉时，应事先埋设电缆保护管以便敷设电缆时将其穿入管内，如图 5-8 所示。



图 5-8　埋设电缆保护管的施工

5.3.2　电缆在沟内的展放

电缆的展放必须使用放线架，放线架的外形如图 5-9 所示。电缆的牵引可用人工牵引或机械牵引。



图 5-9　常用电缆放线架外形

1．人工牵引展放电缆

人工牵引展放电缆就是每隔几米即有人肩扛着放开的电缆并在沟内向前移动，或在沟内每隔几米即有人手持展放开的电缆向前传递，图 5-10 所示为人工牵引展放电缆施工现场。在电缆展放时，电缆轴架处有两人或四人分别站在两侧用力转动电缆盘，并有专人检查电缆有无破损或其他不妥之处，并有适当工具，可停住转动的电缆盘。牵引速度宜慢，转动轴架的速度应与牵引的速度同步，既不能使电缆受到过度的拉力，也不能使电缆大量堆积，以免造成电缆过度弯曲。电缆端部的牵头者必须对电缆的走向、顺序、排列、规格、型号、转角、用途、编号等十分清楚。遇到保护管时应将电缆穿入保护管，并派人在管口处守候，以免阻卡或出现意外。穿管较长者，最好预先穿入一根 8#铁丝，然后再用铁丝牵引电缆。每放完一盘则应在头和尾端挂上编号。第一盘电缆应从电缆的引出端展放，第一盘不够长时，第二盘应从第一盘的末端继续展放，且应放完一个回路再放另一个回路；每放完一个回路不应将剩余的电缆锯断，须经复核无误后且留出制作电缆头和电缆接头及其他的余量后，才能锯断。



图 5-10　人工展放电缆施工现场

2．机械牵引展放电缆

机械牵引展放电缆（见图 5-11）与人工牵引展放电缆要求基本相同，主要是牵引方法不同。

机械牵引展放电缆应先沿沟底放置滚轮，一般每隔 4～5m 放一个，并将电缆放在滚轮上，减小与地面、砂面的摩擦，然后用小拖拉机或汽车（也可用人工）牵引电缆，如图 5-12 所示。人工只是保护电缆不脱轮及在



转角处保护电缆不与沟边摩擦。人应站于沟的外侧，用手传递电缆，这里应由有经验的人看管。电缆盘的两侧同样应有人协助转动，并可使转动的电缆盘制动。电缆的牵引端一般用专用的电缆钢丝网套套上。再由机械牵引，牵引速度应小于 8m/min。钢丝网套如图 5-13 所示。如在田间或无需穿保护管时可将牵引车骑跨在电缆沟上牵引。

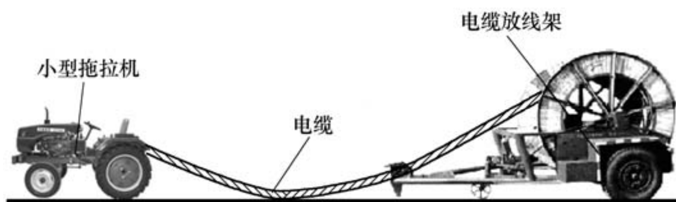


图 5-11　机械牵引展放电缆

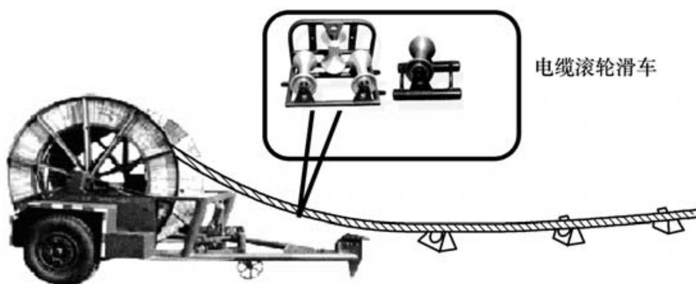


图 5-12　铺设电缆



钢丝网套

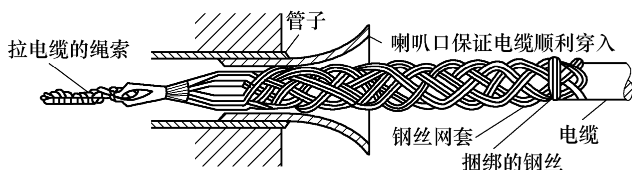


图 5-13　用钢丝网套将电缆与牵引绳系住

电缆全部展放入沟后，应沿全线进行检查和整理，掉入沟内的石块及硬物应捡出；电缆在沟内应有一些波形余量，不要撑得特别直，以防冬季冷却伸直；多根电缆同沟敷设应排列整齐，不得交叉。

5.3.3　电缆沟回填

全部检查核对无误后，在电缆上面盖一层厚为 100mm 的细砂，然后在砂子上面铺盖一层土砖或水泥砖，其宽度应大于电缆各侧 50mm。沟内回填土应分层填好并夯实，覆盖土要高于地面 150～200mm，以防沉陷。在电缆接头、进户位置应先留出作业的位置，一般应大于 3m，待接头作完后再砌井或铺砂盖砖回填土，回填土的施工现场及铺好盖板后的电缆沟如图 5-14、图 5-15 所示。



图 5-14　电缆沟回填土施工现场



图 5-15　铺好盖板后的电缆沟





下午（13:00～17:30）

5.4 电缆沟内的敷设施工

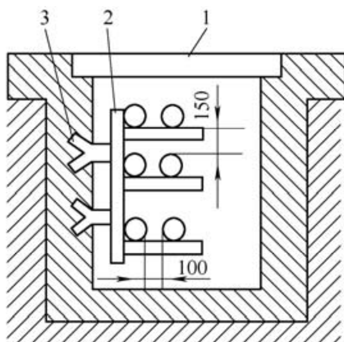
电缆沟大多是用砖砌筑或用混凝土浇注而成，然后将电缆固定在沟内支架或排放在沟底，这是电缆敷设中应用较广的安装方法，这种敷设方式具有占地少、维护方便、造价较低、便于检修或后期更换电缆等优点，图 5-16 所示为砌筑好的电缆沟。



图 5-16 砌筑好的电缆沟

电缆沟可分为室内沟、室外沟和厂区沟等几种，其布局如图 5-17 所示。





a) 户内

图 5-17 电缆沟敷设电缆的几种型式

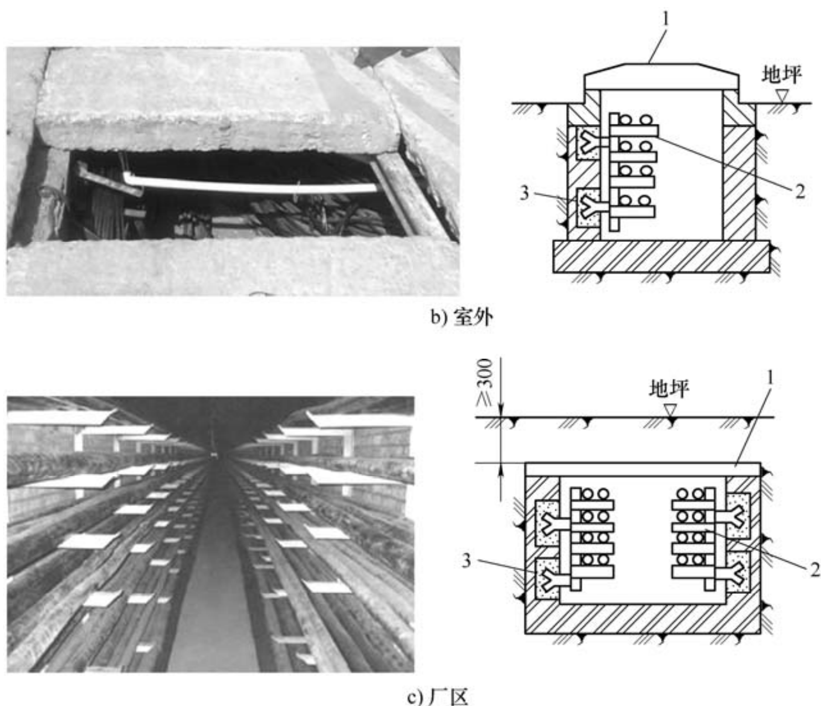


图 5-17　电缆沟敷设电缆的几种型式（续）
1—盖板　2—电缆支架　3—预埋铁件

1．电缆沟内敷设的一般规定

1）电缆沟底应平整，沟内应保持清洁、干燥，应设置相当数量的积水坑和排水设施，以便能及时将沟内积水排出。积水坑的间距一般为 50m 左右，积水坑的尺寸以 300mm×300mm×300mm 为宜。电缆沟的尺寸根据设计确定，沟壁、沟底均应采用防水砂浆抹面。

2）高低压电力电缆及控制电缆应按规定分别敷设于不同支架上，并在电缆下衬垫橡胶垫、黄麻带等软性绝缘物质。支架上的电缆，应按照要求排列，其排列允许的水平间距是：高低压电缆为 150mm，电力电缆为 35mm（但不能小于电缆外径），不同级电缆和控制电缆为 100mm。电缆支架层间允许的垂直净距是：电力电缆为 150mm，控制电缆为 100mm。

3）当电缆需在沟内穿越墙壁时，应穿钢管保护，以防机械损伤。室



内电缆沟的盖板应与室内地面相平，在容易积灰积水处，宜用水泥砂浆或沥青将盖板缝隙封上。室内电缆沟的盖板宜高出地面 100mm，以使地面排水不进入或少进入沟内。如果盖板高出地面，会影响厂区排水或交通，那么就可以采用具有覆盖层的电缆沟，此时电缆顶部一般低于地面300mm。电缆沟的盖板（见图 5-18）以两人能抬起为宜，通常不超过 50kg。室内需经常开启的电缆沟盖板，可以采用钢板。室外电缆进入变电所（或厂房）入口处，应设防火隔墙。

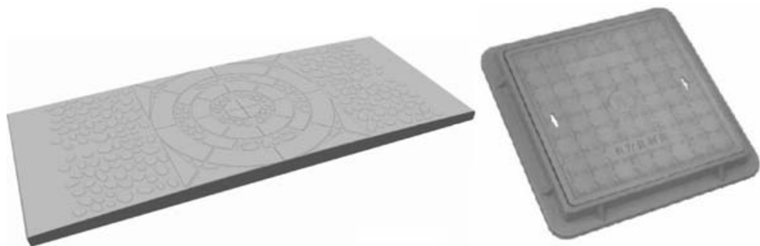


图 5-18　电缆沟盖板

4）由于电缆沟常用于多根电缆的敷设，所以在施工前应认真阅读图样，了解每根电缆的型号、规格、走向和用途，按实际情况计算电缆长度并合理布置电缆，以免发生差错，造成浪费。

2．电缆支架的安装

在电缆沟土建施工时，要同时按要求埋设电缆支架等预制件，埋设前电缆支架均应做防腐处理，图 5-19 所示为电缆支架的安装图。电缆支架安装应平直牢固。

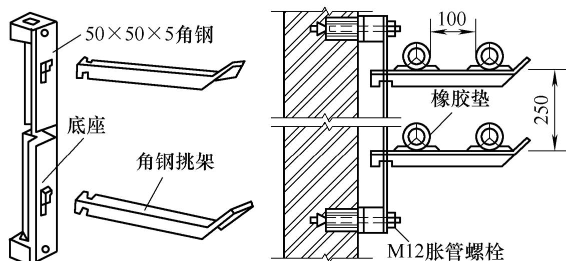


图 5-19　常用电缆支架

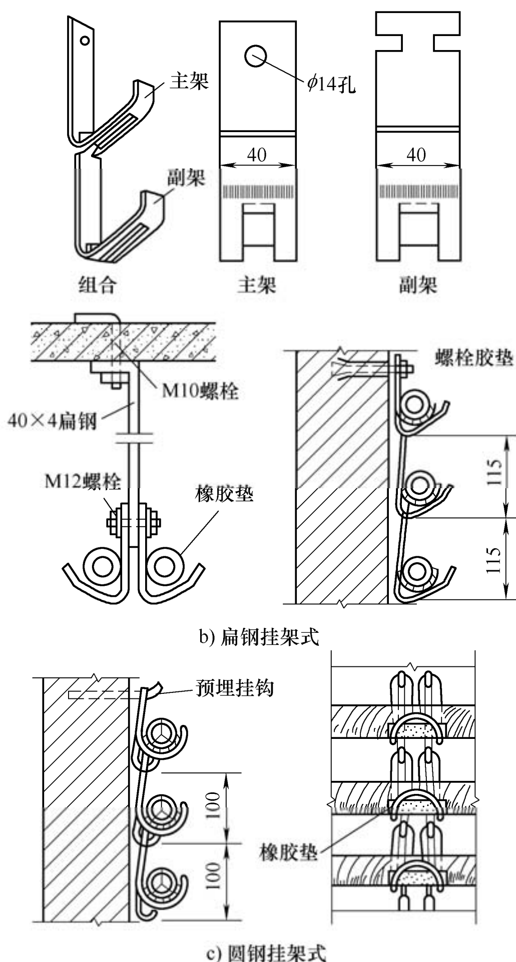


图 5-19　常用电缆支架（续）

3．敷设电缆

敷设电缆时，有些电缆还需要使用电缆卡固定。固定电缆的卡子一般是铁制的（见图 5-20），单芯电缆的卡子可以用黄铜、青铜、木料或瓷料等非磁性材料制造。单芯电缆还有一个铅包接地问题。安装人员必须详细了解设计要求，确定铅包与夹头应该绝缘还是应有良好的电气连接。这是为了防止故障电流和铅包感应电流在铅包与夹头接触处烧坏铅包，对于



裸铅包电缆，为了防止铅包受到损伤，应在夹头处用橡胶垫、麻带、铅皮或其他软性材料衬垫。此外，所有金属支架和夹头都应镀锌或涂防锈漆，而木制夹头和衬垫则应经防火液浸渍处理。

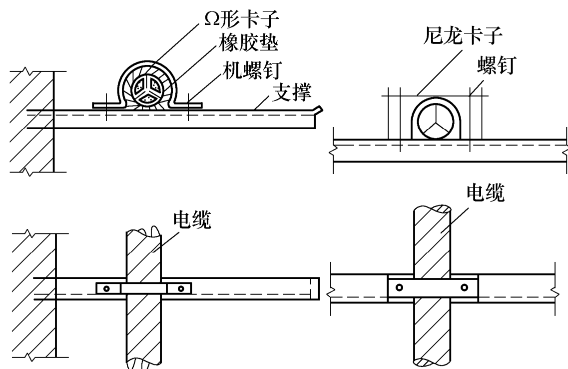


图 5-20　各种电缆卡子安装示意图

◎ 5.5　电缆桥架的敷设施工

用电缆桥架敷设电缆具有走向灵活、施工简单、线路美观整齐的优点，非常适用于化工、炼油、冶金、军工、机械、轻工、纺织等工业企业的厂区和车间敷设电缆。电缆桥架不仅适用于室内，而且也适用于室外。由于电缆桥架的零部件一般都镀锌，所以电缆桥架可用于轻腐蚀场所，并且在易爆环境中也可应用，如图 5-21 所示。



a) 室外敷设



b) 室内敷设

图 5-21　敷设在电缆桥架上的电缆

电缆桥架一般是由立柱、托盘和梯架等组成（见图 5-22），立柱间距一般为 2m，每米载荷为 125kg。目前，电缆桥架的所有零部件都设计成标准件，由专业化工厂生产，运到现场就能安装使用。

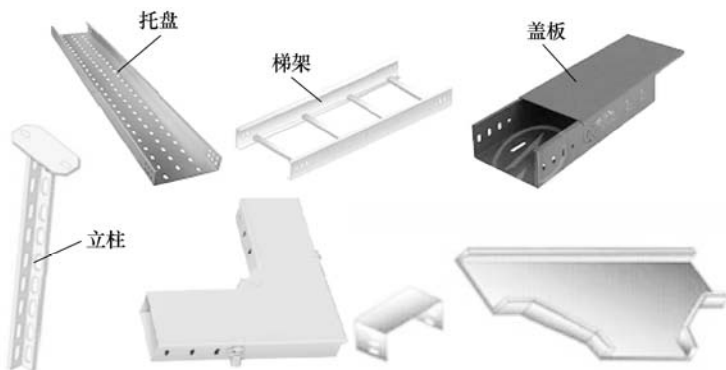


图 5-22 电缆桥架的组成

电缆桥架的托盘平面布置如图 5-23 所示。电缆桥架的固定常用膨胀螺栓，这种固定方法简单方便，省去了在土建施工时安装预埋件的工序。

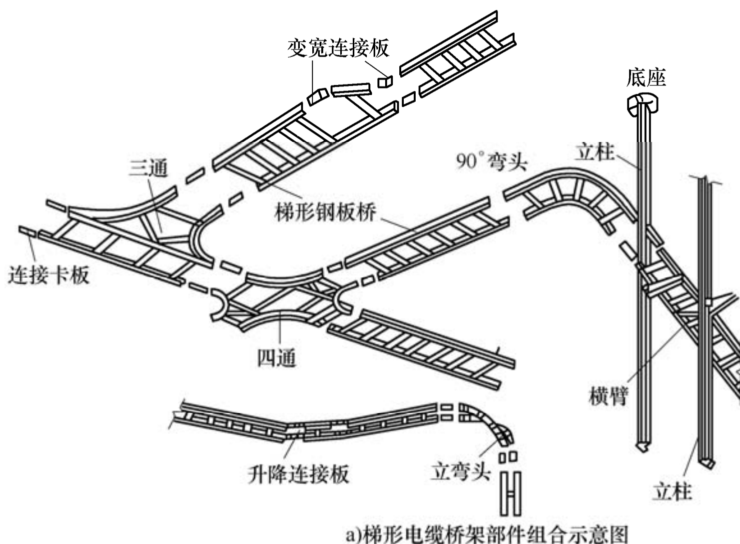
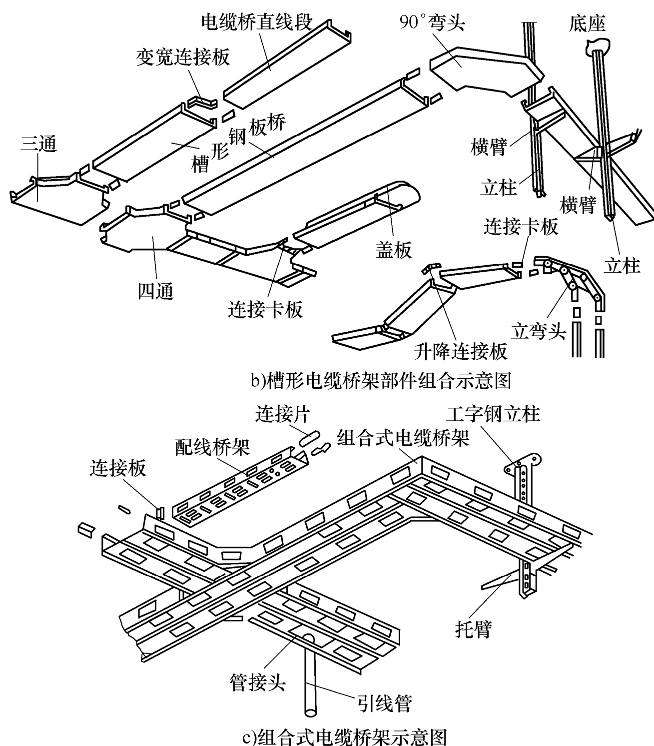


图 5-23 电缆桥架示意图





b)槽形电缆桥架部件组合示意图

c)组合式电缆桥架示意图

图 5-23　电缆桥架示意图（续）

用膨胀螺栓可以把电缆桥架的立柱、底座、引出管的底座和托臂等部件固定在混凝土构件上或砖墙上。

电缆在托盘上敷设时一般都是单层布置，用塑料卡带将电缆固定在托盘上，大型电缆可用铁皮卡子固定，两层电缆桥架组的立面如图 5-24 所示。

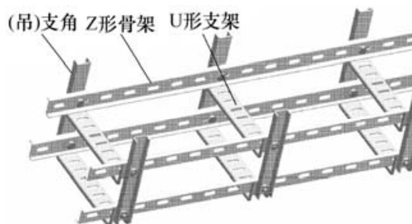


图 5-24　两层电缆桥架组

5.6　电缆终端头的安装

1．室内安装

电缆头安装一般有两种型式，一种为安装在柜内的电缆横梁上，另一种为安装在墙上或支架上。

1）柜内安装通常用 Ω 形卡子固定在电缆横梁上，如图 5-25 所示。

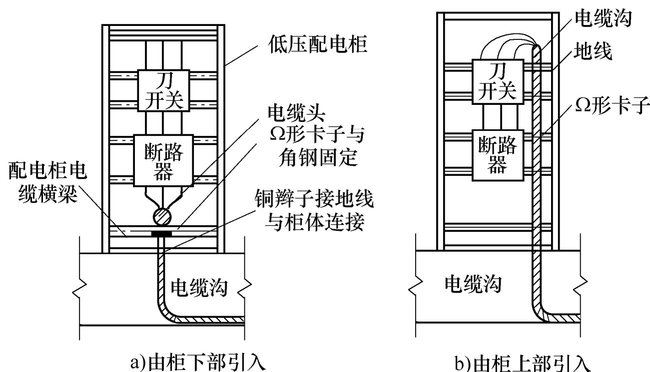


图 5-25　低压电缆头在低压柜内的安装

2）墙上安装通常用 Ω 形卡子固定在预埋件上，如图 5-26 所示。从地面以上部分的 2m 处应安装钢管保护，电缆线芯应保持规定的对地距离。室内也有用保护钢管直接支撑电缆头的，如图 5-27 所示。

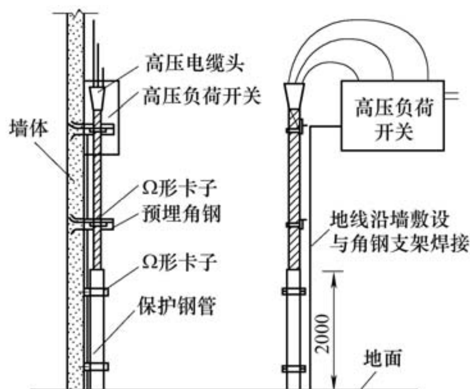


图 5-26　高压电缆头在墙上的安装



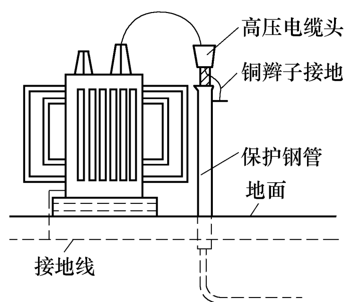


图 5-27　高压电缆头直接接变压器

2．室外安装

图 5-28 所示为已经安装好的电缆头。室外除了杆上安装以外，还有在墙上、支架上等安装，型式与室内基本相同，无论室内、室外都必须将电缆的铜辫子接地线与地可靠连接。制作时，应根据与设备连接的距离决定每根线芯的长度。室外安装如图 5-29、图 5-30 所示。



图 5-28　安装在室外的电缆头

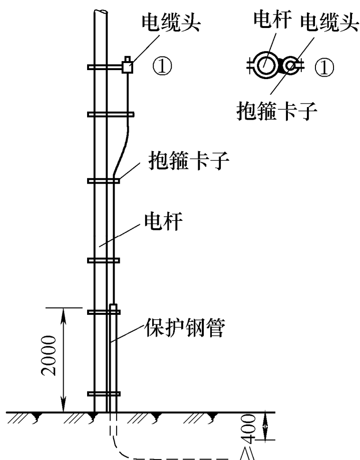


图 5-29　安装室外电缆头

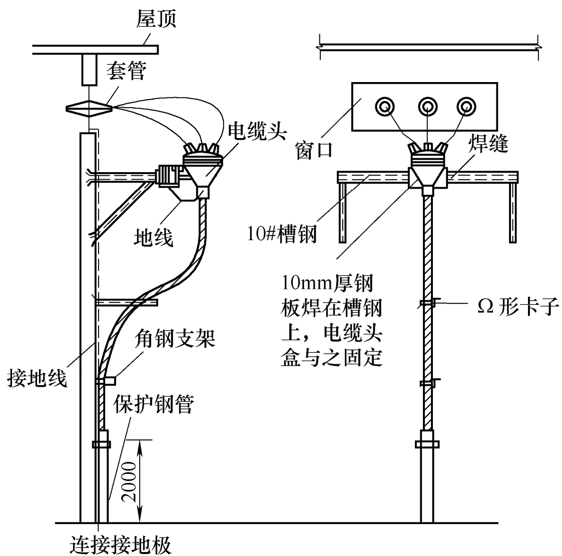


图 5-30　电缆头安装在室外支架上并引入变电室内

◎ 5.7 电缆线路的维护与检修

1．电缆线路的维护

（1）电缆沟的维护

1）检查电缆沟的出入通道是否畅通，沟内如有积水应加以排除，并查明积水原因，采取堵漏措施，发现沟内脏污应加以清扫。

2）检查电缆沟内的防火及通风设备是否完善正常，并记录沟内温度。

3）检查电缆及终端盒的接头是否漏胶和漏油，接地是否良好。

4）检查电缆在支架上有无擦伤，检查支架有无脱落及锈蚀。

（2）户内外电缆及终端头的维护

1）检查终端盒内有无积水、空隙或裂缝现象。

2）检查终端头有无漏胶现象，如发现漏胶，应立即用沥青封口。绝缘胶不满时，应用同样的胶填满。测定接地电阻和绝缘电阻是否符合要求。

3）检查有无电晕放电痕迹并清扫电缆头，检查电缆的标示牌是否完整。

2．电缆线路的防火措施

1）保证施工质量，特别是电缆头的制作质量一定要严格符合规定要求。

2）加强电缆运行监视，避免电缆过负荷运行。

3）按期进行电缆测试，发现不正常时能及时处理。

4）电缆沟、隧道要保持干燥，防止电缆浸水，造成绝缘下降，引起短路。

5）定期清扫电缆上所积煤粉，防止煤粉自燃而引起电缆着火。

6）加强电缆回路开关及保护的定期校验维护，保证其动作可靠。

7）电缆敷设时要保持与热管路有足够距离，控制电缆不小于0.5m，动力电缆不小于1m。控制电缆与动力电缆应分槽、分层并分开布置，不能层间重叠放置。对不符合规定的部位，电缆采取阻燃、隔热措施。

8）安装火灾报警装置及时发现火情，防止电缆着火。

9）采取防火阻燃措施。有关电缆的防火阻燃措施如下：①将电缆用绝缘耐燃物封包起来，当电缆外部着火时，封包体内的电缆被绝热耐燃物隔离可免遭烧毁。如果电缆自身着火，因封包体内缺少氧气可使火自熄，

并避免火势蔓延到封包外。②将电缆穿过墙壁、盘底、竖井的孔洞用耐火材料堵严密，防止电缆着火时，高温烟气扩散和蔓延造成火灾面积扩大。③在电缆表面涂刷防火涂料。

今天问答题



1．电缆的合理埋设深度、电缆与各种设施接近和交叉的距离、电缆之间的距离和电缆明敷时的支持距离分别是多少?

2．电缆直埋敷设的安全要求有哪些?

3．电缆沟内敷设电缆的一般规定有哪些?

4．详细叙述电缆终端头的安装方法。

第 6 天

学习室内布线与电气照明设备安装技术



上午（8:00 ~ 11:30）

6.1　护套线布线施工

护套线（见图 6-1）配线具有防潮、防酸、耐腐蚀、线路造价较低和安装方便等优点，可以直接敷设在空心板、墙壁以及其他建筑物表面，用铝线卡作为护套线的支持物。但由于护套线的截面积较小，大容量电路不能采用。



图 6-1　护套线

护套线布线的方法如下：

1．定位、画线

先确定线路的走向、各用电器的安装位置，然后在线路走向上每隔 150～300mm 画出固定铝线卡的位置，最后在开关、灯具和插座等固定点的中心处画一个“×”号作为标记，图 6-2 列举了室内布线的定位、画线方法。

2．固定铝线卡

1）铝线卡（俗称金属轧片）的规格有 0#、1#、2#、3#和 4#等多种。



图 6-2　室内布线的定位、画线

号码越大，长度越长，可按需要选用。金属轧片分为用小铁钉固定和用环氧树脂胶粘的两种。

2）在木结构上可用小铁钉固定铝线卡；在混凝土墙上，每隔 4～5 个铝线卡处及进入木台或转角处，需用木榫固定铝线卡，其余的可用小铁钉直接将铝线卡固定在混凝土墙上，如图 6-3 所示。

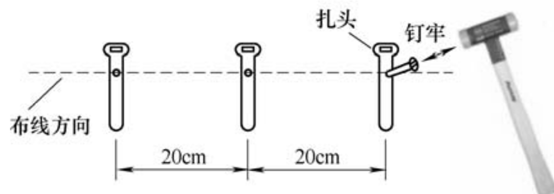


图 6-3　用小铁钉固定铝线卡

3．敷设护套线

1）放线。整卷护套线不能弄乱，不可使线的平面产生小半径的扭曲（特别是在冬季）。放铅包线更不可产生扭曲，否则无法把线敷设得平服。为了防止平面扭曲，放线时需两人合作，一个人把整卷护套线按图 6-4 所示方法套入双手中，另一人将线头向前拉出。放出的护套线不可在地上拖拉，以免擦破或弄脏

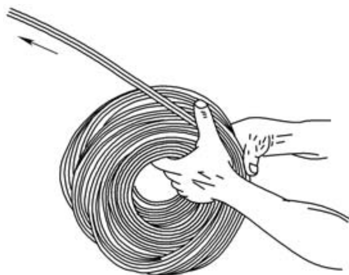


图 6-4　护套线的放线方法



护套层。

2）敷线及紧线。整齐美观是护套线线路的主要特点。因此，导线必须敷得横平、竖直；多条护套线平行敷设时，应敷得紧密，线与线之间不能有明显的空隙。在敷线时，要采取勒直和收紧同步进行的方法来校直。

勒直，是在护套线敷设之前，把有弯曲的部分，用净布裹捏后来回勒平，使之挺直，如图 6-5 所示。

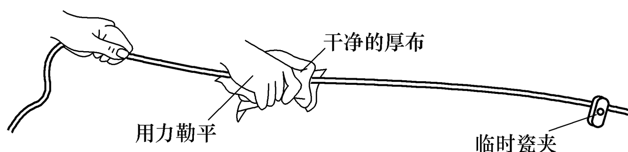


图 6-5　护套线的勒直方法

收紧，是在敷设时，把护套线尽可能地收紧。长距离的直线部分，可在直线部分两端的建筑面上，临时各装一副瓷夹板作支持点，然后收紧导线再逐一固定铝线卡，如图 6-6a 所示。短距离的直线部分，或转角部分，可戴上手套后用手顺向按捺，使导线挺直平服固定上铝线卡，如图 6-6b 所示。

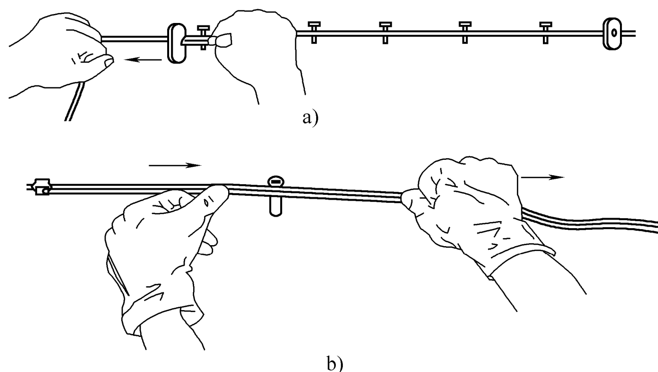


图 6-6　护套线的收紧方法

3）铝线卡夹持护套线的方法如图 6-7 所示，护套线应置于铝线卡的针孔位（或粘贴部分）中间。

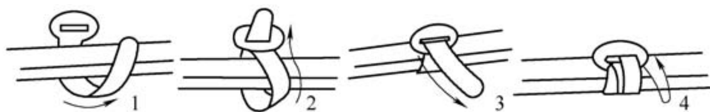


图 6-7　护套线的夹持操作

4）护套线支持点的定位，分为以下几种：直线部分，两支持点之间的距离一般为 0.2m；转角部分、转角前后各应安装一个支持点；两根护套线十字交叉时，叉口处的四方各应安装一个支持点，共有四个支持点；进入木台前应安装一个支持点；在穿入管子前或穿出管子后，均需各安装一个支持点。护套线线路支持点的各种安装位置，采用铝线卡的方法如图 6-8 所示。

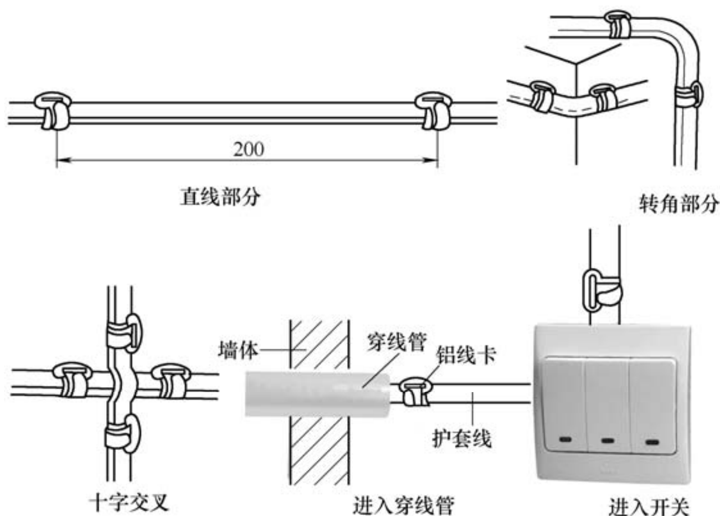


图 6-8　护套线支持点的定位

5）护套线在同一墙面上转弯时，必须保持垂直。转角处并应保持适当的曲率半径尺寸，其数值一般应是护套线宽度的 3 倍左右。太小会损伤芯线（尤其是铝芯线），太大要影响线路美观。多根护套线并行布线时，第一根的曲率半径应小些，但不宜小于 2 倍。

6）护套线线路的离地最小距离不得小于 0.15m；在穿越楼板的一段及在离地 0.15m 以下部分的导线，应加钢管（或硬塑料管）保护，以防导



线遭受损伤。

6.2 瓷绝缘子布线施工

瓷绝缘子（俗称瓷瓶）配线适用于容量较大而又比较潮湿的场合。室内配线用低压绝缘子（俗称瓷瓶），一般有鼓形绝缘子（又称瓷柱）、蝶式绝缘子（又称茶台式绝缘子）和针式绝缘子（又称伞形绝缘子）等，图 6-9 列举了几种低压绝缘子。



图 6-9　低压绝缘子

瓷绝缘子配线的步骤如下：

1．定位

按施工图确定灯具、开关、插座和配电箱等设备的位置，然后再确定导线的敷设位置、穿过楼板的位置及起始、转角、终端夹板的固定位置，最后确定中间夹板的位置。在开关、插座和灯具附近约 50mm 处，都应安装一副夹板。

2．画线

用粉笔画出导线敷设的路径，再用铅笔或粉笔画出瓷绝缘子位置。然后在每个开关、灯具和插座等固定点的中心处画一个“×”号。

3．凿眼

为了提高效率，在砖墙或混凝土墙上凿眼，建议直接用电锤或冲击电钻，如图 6-10 所示。

4．埋设紧固件

在孔眼中洒水淋湿，埋设木榫或缠有铁丝的木螺钉，然后用水泥砂浆填平，当水泥砂浆干燥至相当硬度后，旋出木螺钉，如图 6-11 所示。



图 6-10　用电锤凿墙眼

5．固定瓷绝缘子（瓷瓶）

1）在木结构上固定瓷绝缘子，可用木螺钉直接旋入，如图 6-12 所示。

2）在砖墙上固定瓷绝缘子，可用木榫预埋和木螺钉固定，如图 6-13 所示。

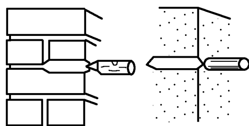


图 6-11　安装紧固件

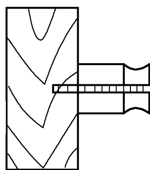


图 6-12　在木结构上固定瓷绝缘子

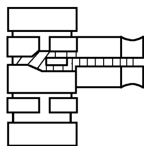


图 6-13　在砖墙上固定瓷绝缘子

3）在混凝土墙上固定瓷绝缘子，可用膨胀螺栓来固定鼓形瓷绝缘子，也可用预埋的支架和螺栓来固定鼓形瓷绝缘子、蝶式瓷绝缘子或针式瓷绝缘子，还可用环氧树脂粘结剂来固定瓷绝缘子，如图 6-14 所示。

6．导线的敷设

1）在建筑物侧面或斜面配线时，应将导线绑扎在瓷绝缘子的上方，如图 6-15 所示。

2）如果导线在同一平面内转弯，则应将瓷绝缘子装在导线转弯拐角的内侧，如图 6-16 所示。

3）如果导线在不同平面转弯，则应在凸角的两面上装设两个瓷绝缘子，如图 6-17 所示。



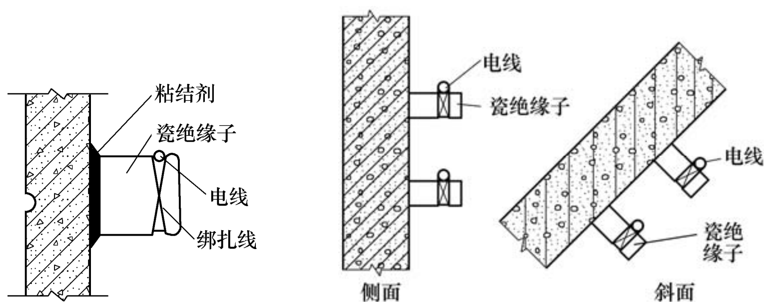


图 6-14　用环氧树脂固定瓷绝缘子　图 6-15　瓷绝缘子在建筑物侧面或斜面的配线

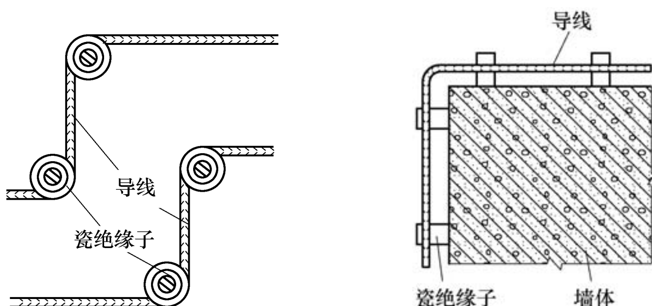


图 6-16　瓷绝缘子在同一平面内的转弯配线　　图 6-17　瓷绝缘子在不同平面上的转弯配线

4）线路分支时，必须在分支点处安装瓷绝缘子来支持导线；线路互相交叉时，应在交叉部位的导线上套瓷管保护，如图 6-18 所示。

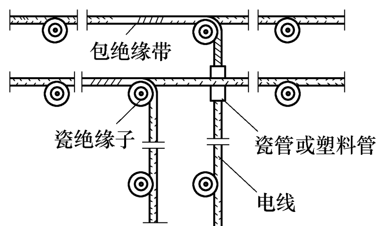


图 6-18　线路的分支或交叉配线

5）平行的两根导线，应位于两瓷绝缘子的同一侧，或位于两瓷绝缘子的外侧，而不应位于两瓷绝缘子的内侧，如图 6-19 所示。

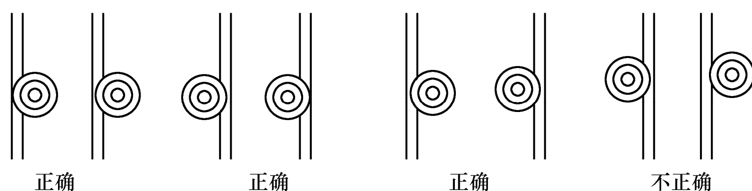


图 6-19　平行导线的敷设位置

6）沿梁瓷绝缘子配线施工如图 6-20 所示，通常在预制梁时应预埋短管或缠有铁丝的木螺钉。

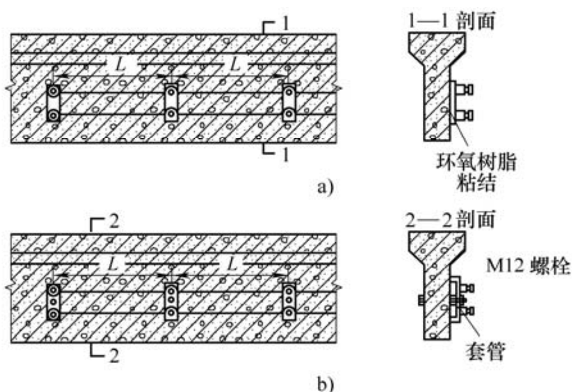


图 6-20　沿梁瓷绝缘子配线

7）导线穿过墙面、导线与水管交叉、导线与热量管道交叉，应按图 6-21 所示的方法施工。

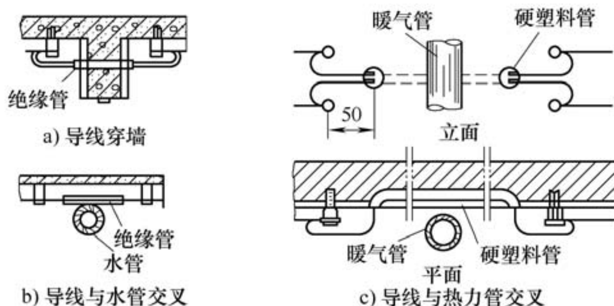


图 6-21　瓷绝缘子配线时与管道交叉的处理



8）导线的丁字形配线、拐角配线、交叉配线、导线进入插座的配线都应按图 6-22 所示的方法施工。

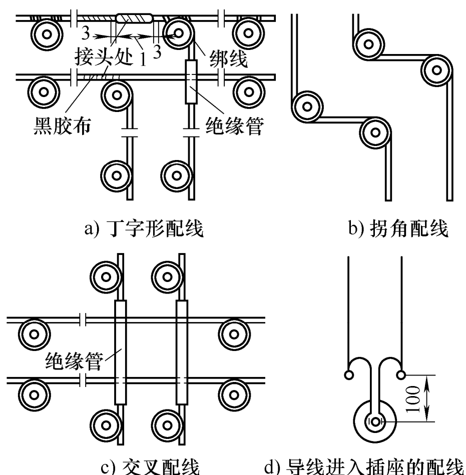


图 6-22　瓷绝缘子配线

7．导线的绑扎

1）直线段导线的绑扎。鼓形和蝶式瓷绝缘子配线的直线段绑扎，可根据导线截面积确定。截面积为 6mm^2 及以下的导线可采用单花绑法，截面积为 10mm^2 及以上的导线采用双花绑法。绑扎步骤分别如图 6-23 和图 6-24 所示。

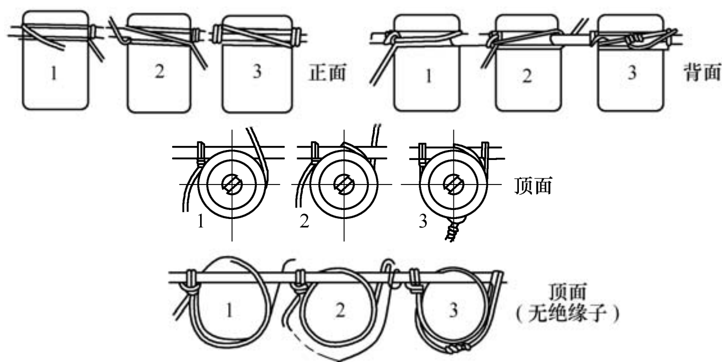


图 6-23　单花绑扎步骤

2）终端导线的绑扎。终端导线的绑扎可用回头线绑扎，如图 6-25 所示。绑扎线宜用绝缘线，绑扎线的线径和绑扎圈数见表 6-1。

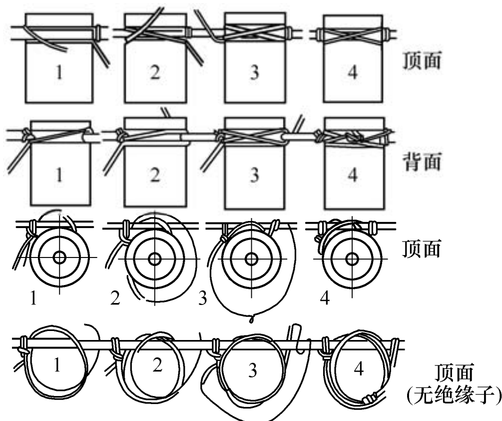


图 6-24　双花绑扎步骤

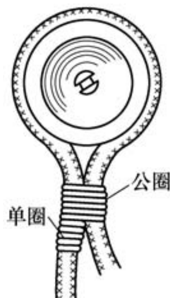


图 6-25　终端导线的绑扎

表 6-1　绑扎线的线径和绑扎圈数

导线截面积/mm^2	绑扎直径/mm			绑 扎 圈 数	
	纱包铁芯线	铜芯线	铝芯线	公圈数	单圈数
1.5～10	0.80	1.0	2.0	10	5
10～35	0.89	1.4	2.0	12	5
50～70	1.20	2.0	2.6	16	5
95～120	1.24	2.6	3.0	20	5

6.3　室内暗装导线的施工

室内暗装导线是指将导线安装在墙壁或地板等建筑结构内部，具有整洁美观的优点。在暗装导线的施工过程中，为了保证导线不被破坏，便于日后的维修、更新，一般会把导线穿在电线管内。电线管按照管材的不同一般可分为金属管和塑料管两大类，如图 6-26 所示。



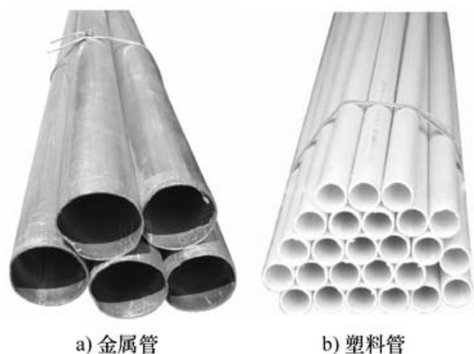


图 6-26　电线管

6.3.1　配合土建工程预埋管路件

室内暗装导线在施工过程中要用到很多起固定作用和保护作用的管路件，这些管路件要随土建工程的进度同步预埋，正确合理地安装预埋件，不但能有效提高导线安装的效率，还能防止因在建筑物上重新凿墙刨洞而影响美观及安全质量。图 6-27 所示就是配合土建工程预埋好的暗线管路件。



图 6-27　配合土建工程预埋好的暗线管路件

1．安装预埋管路件时的准备工作

1）开工前应将预埋的金属管路进行调直、除锈、吹除，然后内外刷防锈漆一道、风干，送往现场。如采用电线管可不必刷漆，因为电线管出厂时已内外刷漆。

2）送往现场的管材、盒、箱等材料，应进行外观、质量检查，不得有裂纹、破口、开焊及明显的机械损伤。敷设的管路其规格型号应符合设

计要求。

3）配合土建施工的主要机具有电焊机、气焊工具及氧气、乙炔气，煨弯器和煨弯机、烘炉及吹风机、切管机、压力案子等，应随材料运到现场，装车前应检查是否能用。

4）配合土建施工使用的主要图样，如设备平面布置图、动力平面图、照明平面图、配电系统图、电缆清册、弱电系统的平面图以及有关土建结构、建筑的图样，应带到现场。

5）预埋好的管路件口应封堵严实，以免异物落入（见图 6-28）；进入箱、盒的管口应清除毛刺，敞口水平放置的管口，应做成喇叭口，并焊好接地螺钉；应随时摆正已下好的竖管及盒，不得由土建工人或他人移位。



图 6-28　预埋好的管路件口应封堵严实

6）配合土建预埋管路件，应充分掌握土建的结构和房间的布置以及装饰的要求，特别是要掌握楼板厚度、墙厚、标高、梁和柱的截面积、抹灰厚度等土建的基本数据。另外配合土建预埋管路件要随时掌握土建工程的进度，否则可能会遗漏预埋的项目。

2．安装预埋管路件时的注意事项

1）配合土建工程预埋管路的施工，应符合现行国家标准的规定。

2）敷设在多尘或潮湿场所的电线保护管，其管口及其连接处均应密封良好，如图 6-29 所示。

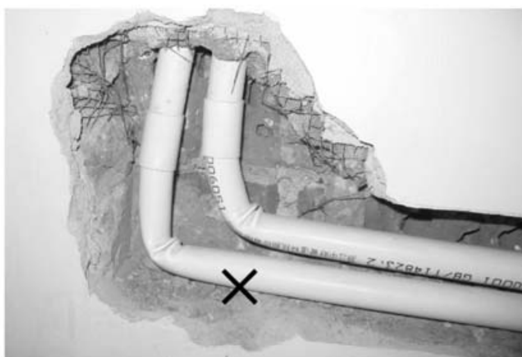
3）电线保护管不宜穿过设备、建筑物及构筑物的基础。如必须穿过时，应有保护措施；暗配电线保护管时宜沿最近的线路敷设，并应尽量减少弯曲。埋入建筑物、构筑物内的电线保护管，与其表面的距离不应小于 15mm；进入落地式柜、箱的电线保护管，应排列整齐，管口一般宜高出柜、箱基础面 50～80mm，且同一工程应保持一致。



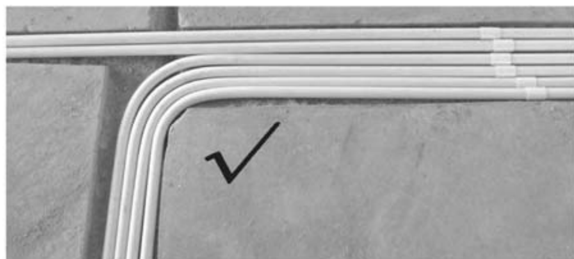


图 6-29　电线管必须敷设紧密、接口密封良好

4）电线保护管的弯曲处，不应有压扁、折皱、凹陷和裂缝等缺陷，其弯扁程度不应大于管外径的 10%，如图 6-30 所示。



a) 压扁折皱的电线管无法穿线(×)



b) 电线管弯曲应整齐美观(√)

图 6-30　电线管的弯曲

电线保护管的弯曲半径应符合以下规定：①管路明设时，弯曲半径不宜小于管外径的 6 倍；当两个接线盒间只有一个弯曲时，其弯曲半径不宜小于管外径的 4 倍；②管路暗设时，弯曲半径不宜小于管外径的 6 倍；当管路埋入地下或混凝土内时，其弯曲半径不应小于管外径的 10 倍。

5）当电线保护管遇下列情况之一时，中间应增设接线盒或拉线盒，其位置应便于穿线。①管路长度每超过 30m 且无弯曲；②管路长度每超过 20m 且有一个弯曲；③管路长度每超过 15m 且有两个弯曲；④管路长度每超过 8m 且有三个弯曲。

3．预埋入户电源管

预埋入户电源管时，途经地面部分应先用土埋好，墙内敷设部分应用木杆三角架支起，管口用塑料布或牛皮纸包扎严实，以免异物入内。埋入墙或混凝土内的管子，距墙表面的净距离不得小于 15mm。照明开关箱入户电源管的安装如图 6-31 所示，其中电缆沟长度一般为 20mm，进箱一般为 10mm；水平距离的长度是用钢卷尺按现场实际距离测量出来的；垂直部分的高度是按开关箱标高（1.4m 或 1.2m）决定的；灯叉弯（又叫做来回弯，见图 6-32）的有无及角度的大小是由箱体结构和墙的厚度决定的，主要看开关箱底部敲落孔的位置及距箱后低的距离，必须把箱体在墙上的位置确定好后，才能下管。

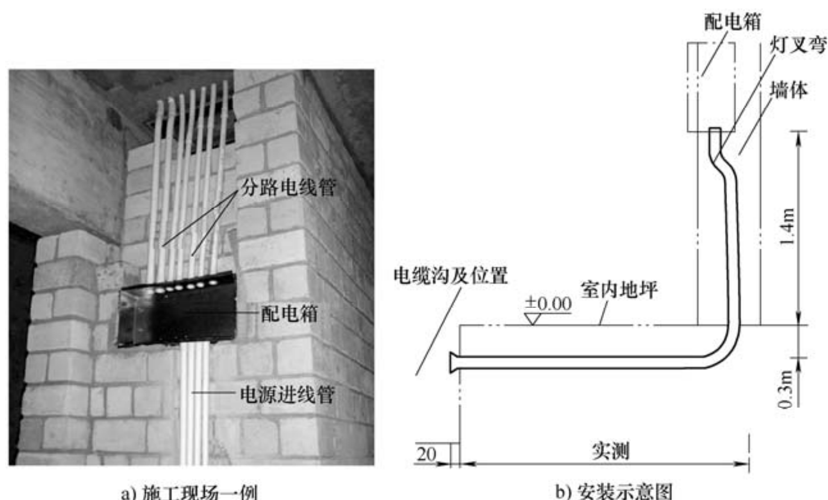


图 6-31　照明开关箱入户电源管的安装





图 6-32　用钢管做的灯叉弯

管的总长度为水平长度+垂直高度+进箱长度+进电缆沟长度+灯叉弯或直角弯的弯曲余量。进入电缆沟的管口应先做成喇叭口，然后用锉去除毛刺，再焊接一条 M6 的螺钉，作为接地用。进入箱体的管口应用锉清除毛刺。

开关箱经地面通往室内外别处的负荷管，在预埋电源管的同时，也要将其预埋好，入墙部分的尺寸、角度应力求一致，与电源管并列成一排，其间距为敲落孔距，不得交叉，然后在两端管口部位用ϕ6mm 的钢筋焊接好。

4．预埋插座盒及开关接线盒

为了安装开关、插座、灯具及导线连接，在预埋电线管同时，在开关、插座、灯具的位置也要预埋接线盒（见图 6-33），接线盒在预埋时必须安装牢固，不能倾斜或有其他缺陷，否则将直接影响开关、插座、灯具等的安装质量。



图 6-33　预埋接线盒

一般来说，接线盒在墙上的位置应使敞口侧凸出墙面 10mm，最大不超过 15mm，如图 6-34 所示。当然具体的出墙距离应通过土建人员，或从土建图样上了解墙壁抹灰厚度来确定，还有一点就是要注意墙的不平度，接线盒应垂直放置，不得歪斜。

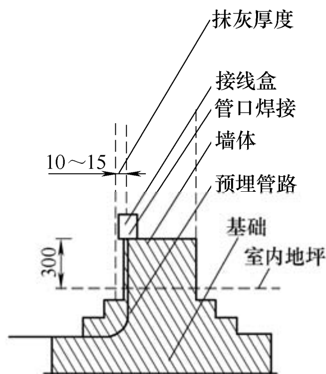


图 6-34　接线盒在墙中的位置

电线管进接线盒的长度不得大于 5mm，在实际工作中，最好使用一种叫做锁母的配件，既简单省力，又美观快捷，如图 6-35 所示。

5．预埋照明配电盒

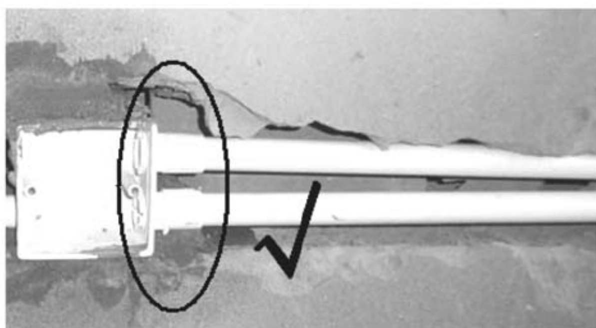
照明配电盒一般包括扳把开关、按键开关、翘板式开关等，常设在 1.20m 或 1.40m 的标高处。当墙砌到标注的标高时，按照照明平面图中的



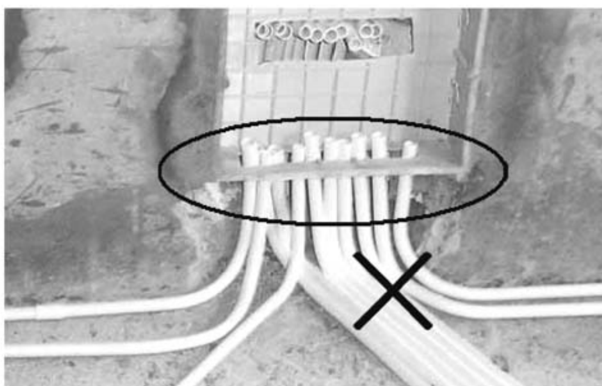
a) 塑料电线管用锁母　　b) 钢电线管用锁母

图 6-35　锁母的使用





c) 使用锁母的电线管进接线盒美观整洁



d) 没使用锁母的电线管进接线盒参差不齐

图 6-35　锁母的使用（续）

开关位置（常设在开门侧），将开关盒及丈量好尺寸并煨制好的管置于墙内，一般为ϕ15mm 的管。配管时，要注意开关和被控灯的位置和顺序必须对应（见图 6-36），在同一建筑物中所有的照明配电盒标高必须一致。

照明配电盒通往屋顶的管，应通至屋顶下 0.3m 即可，这个尺寸要量好，并且所有通往屋顶的管的管口其标高应一致。照明开关盒的安装，涉及竖直向上的管和由闸箱经埋地引来的电源管，是连接电源和灯具的枢纽，所以一定要正确安装。图 6-37 所示为安装在墙上的开关箱。

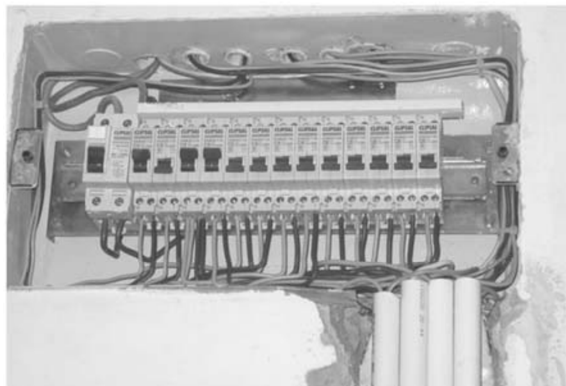


图 6-36　照明配电盒



图 6-37　安装在墙上的开关箱

6．预埋电线管

（1）电线管材的加工

1）电线管的切割。

一般来说，一根钢管的长度为 6m，一根 PVC 电线管的长度为 4m，使用时应根据电线管的长度切割，钢管和 PVC 电线管最好用手钢锯锯断，PVC 电线管也可以用专用剪管钳切割。

钢管用手钢锯切割后，最好再用圆锉把管内侧毛刺打光，并倒成圆角，以免穿线时划伤线皮。



2）电线管的弯管。

小直径的电线管可以直接用弯管器弯曲，如图 6-38 所示。

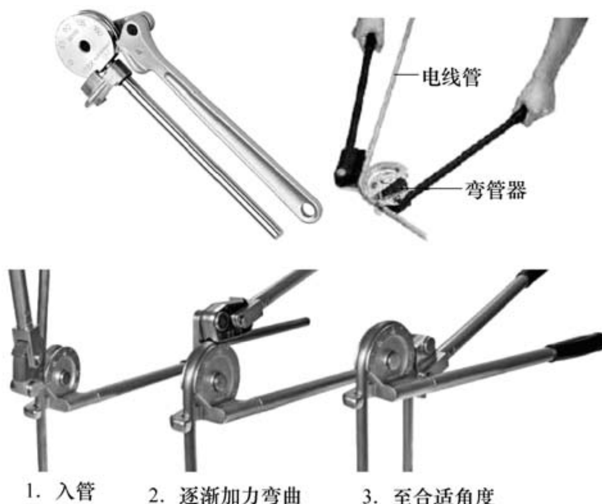


图 6-38　小直径电线管的弯曲

较大口径钢管可以使用液压弯管机，如图 6-39 所示。如果钢管壁较厚，口径较大，则需用气焊加热后进行热弯曲，为了防止管子弯瘪，最好在管内填满沙子，两端用木塞堵住即可。

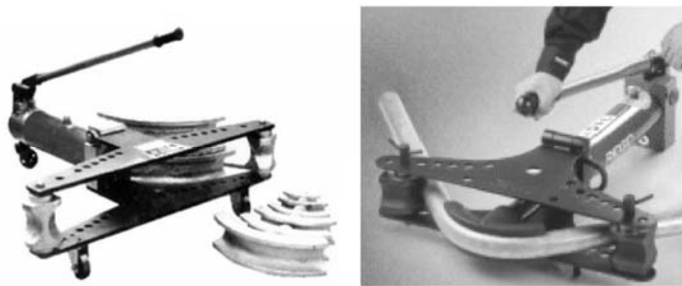


图 6-39　大直径电线管用液压弯管机弯曲

另外，以前还有一种电线管材叫做硬塑料电线管，这种电线管弯曲时必须加热、填砂，对接也要先加热、再扩口，然后才能对插，操作很麻

烦，所以现在已经很少使用这种管材了，大部分已被 PVC 电线管所代替。

在实际工作中，其实已有很多成型的弯曲管材可以根据实际需要选用，直接装配后即可预埋，大大提高了工作效率。

3）电线管的连接。

钢管的连接一般都要用管箍，管箍内有通丝扣，只要在钢管上套上丝，在管箍内拧紧即可，为了保证两段管子的严密性，管子丝扣部分应顺螺纹方向缠上麻丝再涂上一层厚白漆，或缠上塑料生料带。另外，为了保证两段管之间良好的电气连接，在管箍两端要焊接跨接地线，如图 6-40 所示。

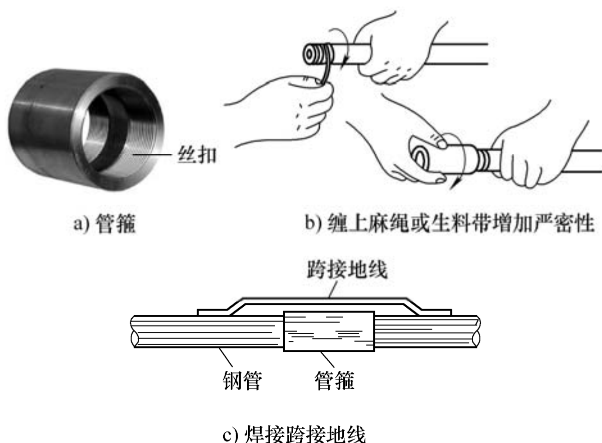


图 6-40　管箍的连接

使用带紧固螺钉的套管连接。这种套管是配套产品，套管上有 2～4 只紧固螺钉，将两端管子插入套管把螺钉拧紧即可，图 6-41 所示为钢管套管。

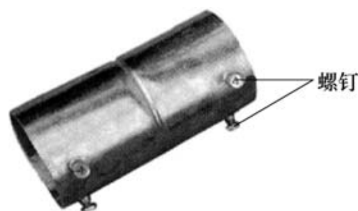


图 6-41　钢管套管

PVC 电线管连接要使用专门配套套管，连接时将管头涂上专用接口胶后，对插入套管即可。

4）电线管与接线盒的连接。

电线管与接线盒的连接上面已经说了，最好使用锁母，如图 6-35 所示，安装检修都非常方便。另外，部分钢管与接线盒的连接也可以焊接，但要注意由于接线盒和钢管的管壁都较薄，不要焊接过度，然后再在接线盒两端的管上加焊跨接地线。

（2）预埋钢管

1）在现浇混凝土楼板内敷设钢管，应在浇灌混凝土以前进行。通常，先用石块在楼板上将钢管垫高 15mm 以上，使钢管与混凝土模板保持一定距离，然后用铁丝将钢管固定在钢筋上，或用钉子将其固定在模板上。

2）在砖墙内敷设钢管，应在土建砌砖时预埋，边砌砖边预埋，并用砖屑、水泥砂浆将管子塞紧。

砌砖时若不预埋钢管，则应在墙体上预留线管槽或凿打线管槽，并在钢管的固定点预埋木榫，在木榫上钉上钉子，敷设时将钢管用铁丝绑扎在钉子上，然后将钉子进一步打入木榫，使管子与槽壁贴紧，最后用水泥砂浆覆盖槽口，恢复建筑物表面的平整。

3）在地坪下敷设钢管，应在浇注混凝土墙前将钢管固定。通常，先将木桩或圆钢打入地下泥土中，用铁丝将钢管绑扎在这些支撑物上，下面用石块或砖块垫高 15～20mm，再浇混凝土，使钢管位于混凝土内部，以免钢管受泥土潮气的腐蚀。

4）在楼板内敷设钢管，由于受楼板厚度的限制，对钢管外径的选择有一定要求：若楼板厚度为 80mm，则钢管外径不应超过 40mm；若楼板厚度为 120mm，则钢管外径不应超过 50mm。此时应注意，在浇注混凝土以前，要在灯头盒或接线盒的设计位置预埋木砖，待混凝土固化，取出木砖，装入接线盒或灯头盒。

管道敷设后，在接线盒、灯头、插座、管口等处用木塞塞上或用废纸、刨花等填满，以免水泥砂浆等杂物进入。

（3）预埋塑料电线管

塑料电线管的敷设方法与钢管基本相同，电线管在墙上的固定方法如图 6-42 所示，可直接用两枚钢钉交叉钉牢塑料电线管。

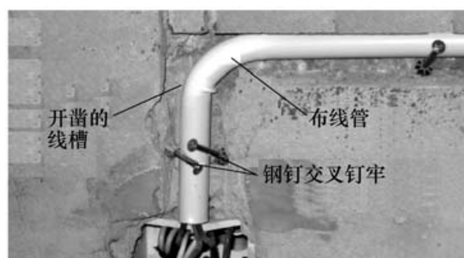


图 6-42　用钢钉固定塑料电线管

7．预埋屋顶灯具金工件

（1）在混凝土现浇板屋顶的预埋

当屋顶为混凝土现浇板时，墙砌到即将封顶标高时，再由下引至屋顶管的管口处，预埋一只分线盒。再往上砌砖时则将这个盒的上方部位留下不砌，形成一个洞。当土建工程进行到屋顶绑扎钢筋时，将灯具的接线盒放在平面图标注的位置上（模板上），这个位置应预先按墙内壁测量好。

按照测量的位置，将灯具接线盒及电线管路口堵满水泥袋纸或其他容易撕下废旧物，如图 6-43 所示，以免异物落入造成堵塞，影响安装。然后紧贴模板面将盒紧紧固定在模板上，盒内不得有空隙，与模板面尽量无间隙，避免水泥砂浆进入盒内，具体做法如图 6-44 所示。



图 6-43　用水泥纸袋堵塞电线管路口



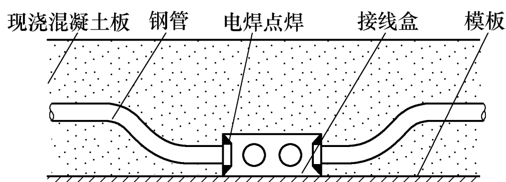


图 6-44　现浇柱钢筋混凝土楼板上灯盒预埋示意图

这里要注意几点：

1）在预埋时必须与钢筋工、混凝土工、瓦工、木工配合好，因为这时是混合交叉同时作业，管要穿入钢筋的套子里，盒又要固定在模板上，又要在墙上留洞，稍有偏差就要给安装带来不便。因此在浇注混凝土时，必须有电工在场，随时纠正由于土建施工而造成的管路、线盒的不妥之处。

2）木模板时固定盒较容易，一般是用细铁丝和钉子在木模板上固定；钢模板时，则是在灯盒处可采用一块木模板，或者将铁盒与钢筋电焊点焊牢固。

3）假如灯具较重，则应在盒内预先插入一根ϕ6～ϕ10mm 的钢筋，插入时利用敲落孔，一般出盒不超过 20mm，这根钢筋的两端最后将浇注在混凝土内，如图 6-45 和图 6-46 所示。

4）同一型号的灯具，其线盒间的距离应相等。

（2）在混凝土预制板屋顶的预埋

当屋顶为混凝土预制板时，土建工程进行到把预制板吊放在屋顶固定后，先测量灯具位置，然后在确定的位置上将预制板凿一个洞，洞的大小由进入管的数量和盒的大小而定。

凿洞应使用电动凿孔机，也有用手工凿洞的。电动凿孔机使用时应注意施加压力不宜过大，应使其自然往下转动，且要注意安全。将钢管煨好后一端进入洞内，另一端进入另一个灯具的洞内或墙上屋顶下 0.3m 处的分线盒内，如图 6-47 所示。管口一般应在板厚的中间与盒焊好，其他与现浇混凝土板预埋相同。土建抹灰时，一般是先把洞用砂浆填平，然后抹灰即可。土建抹地面时，凡是露出混凝土板的管路，不得悬空放置，必须先用硬物将管下充填严实且无上下晃动才能抹灰，否则完工后此处会裂开。

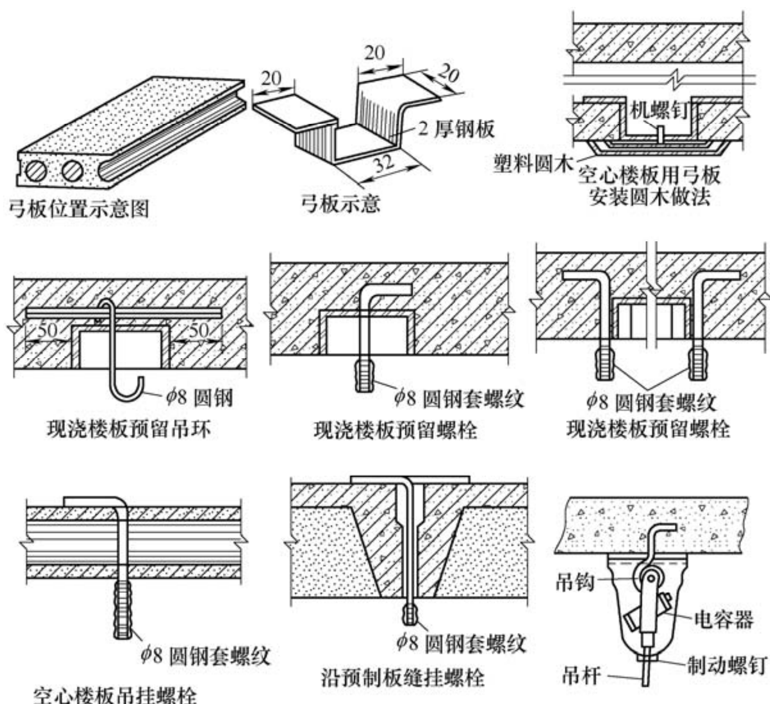


图 6-45　灯具、吊扇吊钩螺栓预埋方法

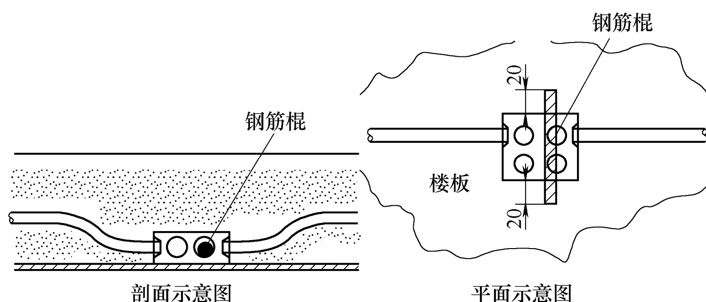


图 6-46　在盒内插入一根钢筋棍



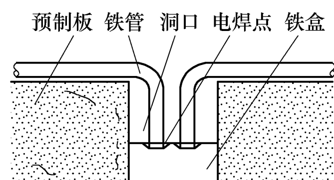
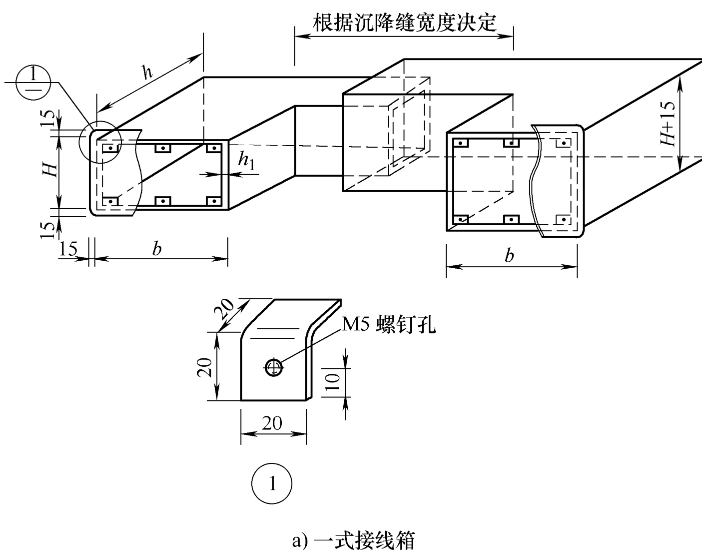


图 6-47　混凝土预制楼板上灯盒安装示意图

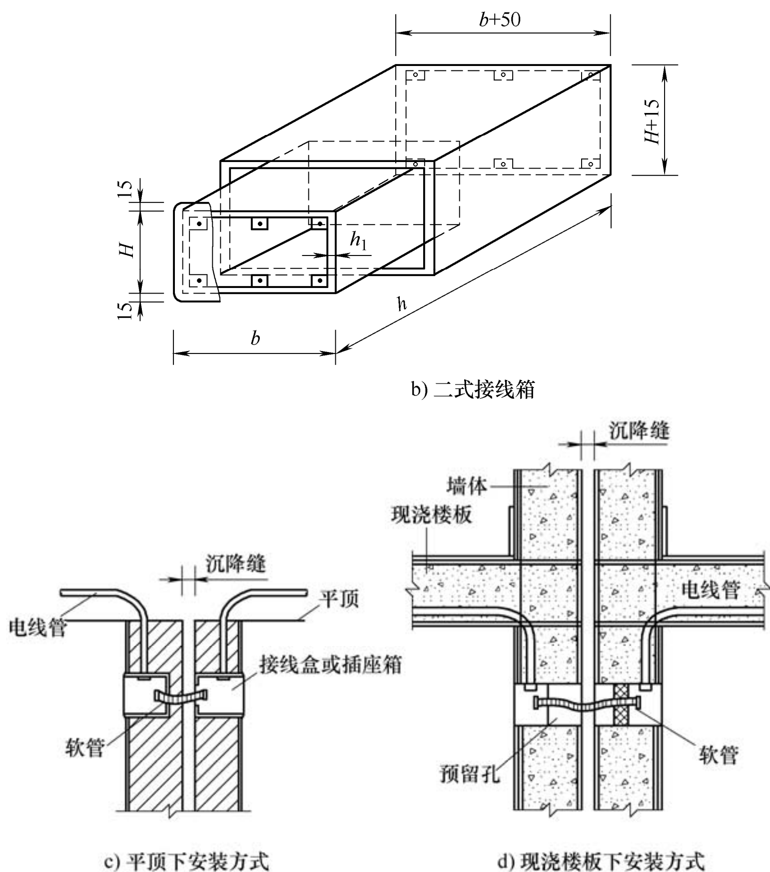
8．预埋管路件遇楼体沉降缝时的做法

由于楼梯结构高度的不同，因而楼房对地基压力也不同，时间长了会出现各部分不均匀沉降。因此，各部分结构间用沉降缝分开，可以认为地基、墙体结构其实是分块的，块与块之间没有刚性连接。当预埋管路件遇楼体沉降缝时的做法是要在沉降缝两侧墙上各装一个接线盒，并用足够富余量的金属软管连接。线管从梁或顶板出来后进入接线盒，将来穿线时在接线盒内还要留出足够的富余量。遇沉降缝时的做法如图 6-48 所示。



a) 一式接线箱

图 6-48　预埋管路件遇楼体沉降缝时的做法



b) 二式接线箱

c) 平顶下安装方式　　d) 现浇楼板下安装方式

图 6-48　预埋管路件遇楼体沉降缝时的做法（续）

6.3.2　管内穿线

预埋管路件后，墙面要抹灰修整，然后就可以穿线了。

1．穿钢丝

一般钢丝使用ϕ1.2（18 号）或ϕ1.6（16 号）钢丝，将钢丝端头弯成小钩，从管口插入。由于管子中间有弯，穿入时钢丝要不断向一个方向转动，一边穿一边转，如果没有堵管，很快就能从另一端穿出。如果管内弯较多不宜穿过，则从管另一端再穿入一根钢丝，当感觉到两根钢丝碰到一



块时，两人从两端反方向转动两根钢丝，使钢丝绞在一起，然后一拉一送，即可将钢丝穿过去，如图 6-49 所示。

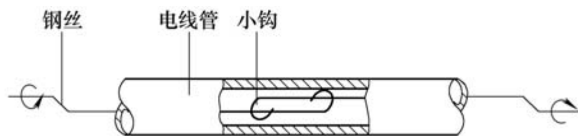
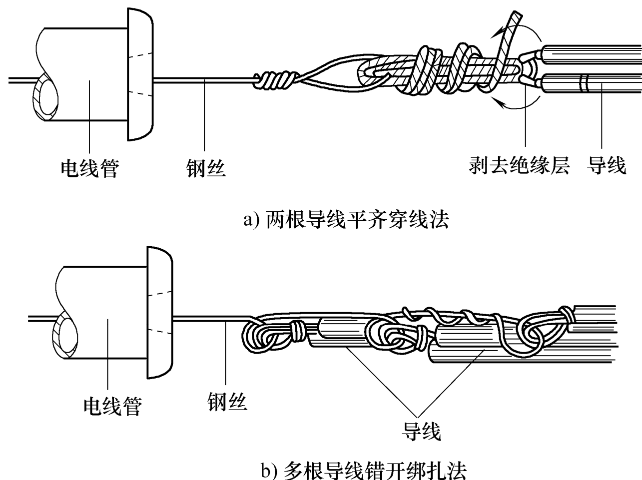


图 6-49　电线管两端穿钢丝示意图

2．带线

钢丝穿入管中后，就可以带导线了。带入的导线根数应根据现场的设计图样要求进行。方法是在钢丝上套入一个塑料护口，钢丝尾端做一个环形套，然后将导线绝缘层剥去 5cm 左右，几根导线均穿入环形套，线头弯回后用其中一根自缠绑扎，最后就可以将导线拉入管内了，如图 6-50 所示。



a) 两根导线平齐穿线法

b) 多根导线错开绑扎法

图 6-50　导线头的缠绕绑扎方法

多根导线在穿入管内过程中，导线要排顺，不能有绞合，不能有死弯，当钢丝带着导线往外拉时，必须安排一个人在另一端专门送线。导线全部带入电线管内后，留下足够的长度，把线头打开取下钢丝，线尾端也留下足够的长度再剪断，一般留头长度为出盒 10cm 左右，接线较为方便，

如果留下的过长，接线盒内可能装不下。

有的时候导线要穿过一个接线盒到另一个接线盒，一般采取两种做法：一种是所有导线到中间接线盒后全部割断，再接着穿另一段电线管，两段在接线盒内进行导线连接；另一种是穿到中间接线盒后继续向前穿，一直穿到下一个接线盒，最后再根据需要截取导线。

6.4　室内线路连接点的合理安排

为保证布线质量和用电安全，线路中导线不应有接头。导线分支等必需的接头可安排在插座盒、开关盒、灯头盒或接线盒内，这样不但维修方便，而且也很美观。

6.4.1　将连接点安排在插座盒内的方法

在导线分支处或其他必需的导线连接处，可设置一插座盒，作为导线的接头点，也可将导线迂回绕行至附近的插座盒内做接头。图 6-51a 所示为原设计图，水平走向的导线需向下分支到插座，导线接头不可避免，解决的办法有两个：①将插座盒上移至导线接头处，如图 6-51b 所示；②将导线向下绕行至原插座盒内进行接头，如图 6-51c 所示。这样做的导线分支保证了布线中途无接头。

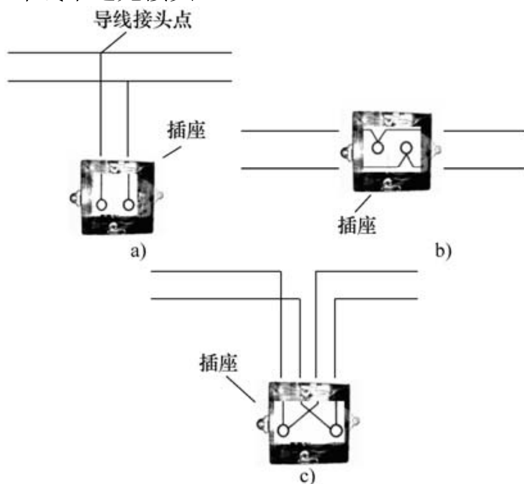


图 6-51　接头在插座盒内的安排



6.4.2 将连接点安排在开关盒内的方法

线路的接头也可以安排在开关盒内。图 6-52a 所示为原设计图，水平走向的导线需向上分支到开关，解决导线接头的办法是，将接头处上移至开关盒内，如图 6-52b 所示，向右的导线从上方的开关盒绕行，避免了布线中途的导线接头。

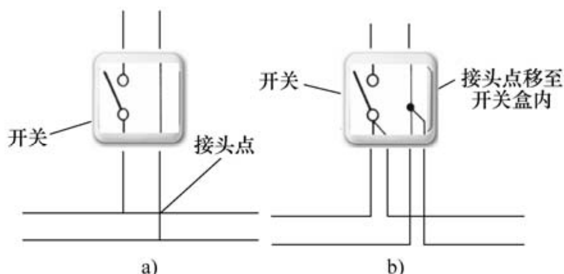


图 6-52 接头在开关盒内的安排

6.4.3 将连接点安排在灯头盒内的方法

线路的接头还可以安排在灯头盒内，这主要适用于电灯开关在灯具上而线路上无开关的情况。图 6-53a 所示为原设计图，水平走向的导线有两个向上的分支到 A、B 两个壁灯，为避免布线中途的导线接头，我们可将两个接头处分别上移至 A、B 两个灯头盒内，如图 6-53b 所示；也可修改导线走向，将 A、B 灯头之间向下的连接线改为 A、B 灯头之间水平走线，如图 6-53c 所示。

6.4.4 将连接点安排在接线盒内的方法

如果导线分支不可避免，附近也没有可利用来做接头点的开关盒、插座盒等，解决的办法只能是在接头处安排一个接线盒。为实现图 6-54a 的设计，我们可在接头处增设一个接线盒，将接头放在接线盒内，如图 6-54b 所示。完成接线后，盖上接线盒盖板。

对于图 6-55a 所示电路，可以分别用两个接线盒做接头，如图 6-55b 所示；也可以只用一个接线盒，而将向右上的分支导线从左边的接线盒中连接后绕行出来，如图 6-55c 所示。

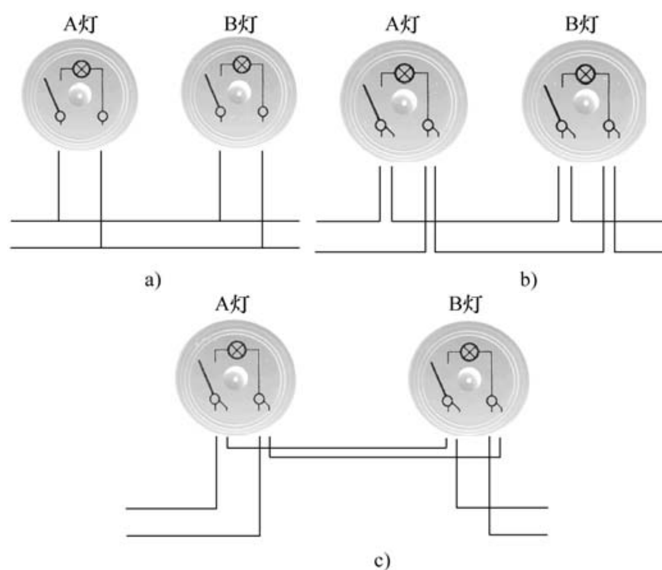


图 6-53　接头在灯头盒内的安排

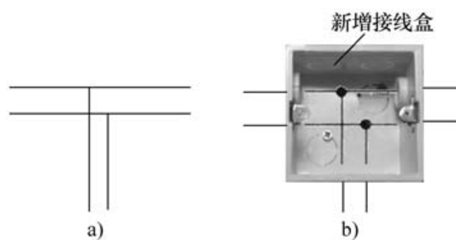


图 6-54　接头安排在接线盒内（一）

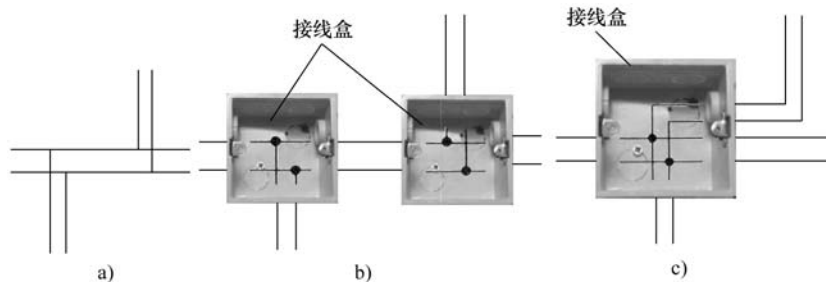


图 6-55　接头安排在接线盒内（二）





下午（13:00 ~ 17:30）

6.5 室内线路的连接工艺

6.5.1 导线绝缘层的剥离

1．塑料绝缘硬线

（1）端头绝缘层的剥离

通常采用电工刀进行剥离，如图 6-56 所示，但截面积为 4mm^2 及以下的硬线绝缘层，则可用剥线钳进行剥离，如图 6-57 所示。

图 6-56 所示为用电工刀剥离绝缘层的步骤，说明如下：

1）按连接所需长度，把刀身与导线之间以 45° 左右夹角切入绝缘层到将切着而未切着芯线为止。

2）压下刀身，夹角改为约 15° 后把刀身向线端推削。

3）把余下的绝缘层从端头处与芯线剥开。

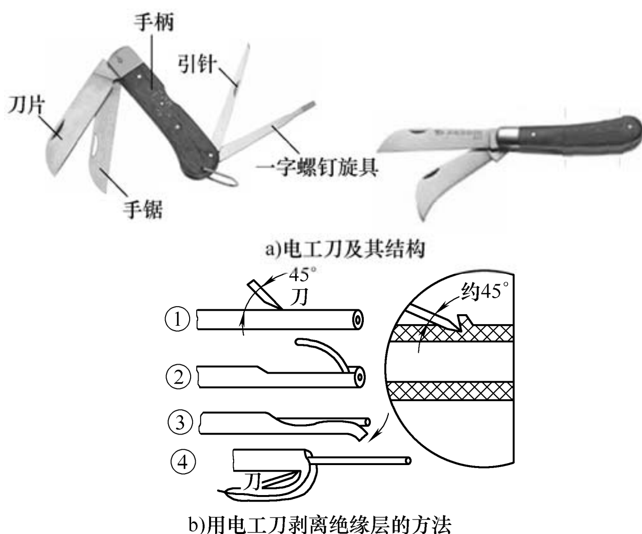


图 6-56 塑料绝缘硬线端头绝缘层的剥离方法

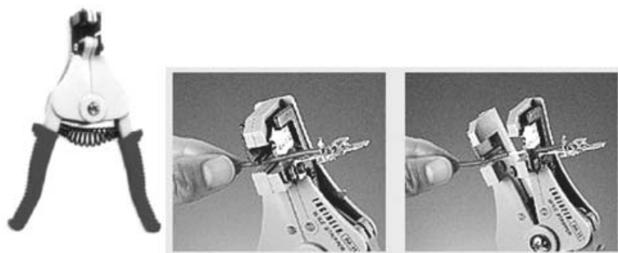


图 6-57　剥线钳及其使用方法

4）把余下绝缘层扳翻至切口根部后，可用电工刀把它切断。

（2）中间绝缘层的剥离

只能用电工刀剥离，方法如图 6-58 所示，其操作步骤如下：

1）在连接所需的线段上，依照上述（1）中的 1）和 2）方法加工，推刀至连接所需长度为止。

2）按上述（1）中的 4）方法把已剥离部分绝缘层切断。

3）用刀尖把余下绝缘层与芯线挑开，并把刀身伸入已挑开的缝中，接着用刀口切断一端。

4）按上述（1）中的 4）方法切断另一端。

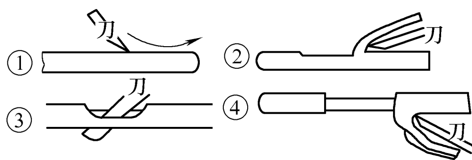


图 6-58　塑料绝缘硬线中间绝缘层的剥离方法

2．塑料绝缘软线

这种导线绝缘层除用剥线钳剥离外，也可利用钢丝钳进行剥离，但不可用电工刀来剥离。

（1）用钢丝钳剥离绝缘层的方法

用钢丝钳剥离绝缘层的方法，如图 6-59 所示，其步骤如下：

1）用左手拇指、食指先捏住线头。

2）按连接所需长度，用钳头刀口轻切绝缘层。这时要注意：只要切破绝缘层即可，千万不可用力过大，使切痕过深，因软线每股芯线较细，极容易被切断，即使隔着未被切破的绝缘层，往往也会被切断。



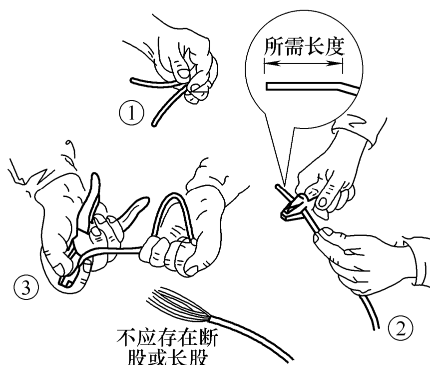


图 6-59　用钢丝钳剥离绝缘层的方法

3）接着应迅速移动钢丝钳握位，从柄部移至头部。在移位过程中切不可松动已切破绝缘层的钳头。同时，左手食指应围绕一圈导线，并握拳捏住导线。然后两手反向同时用力，左手抽右手勒，即可把端部绝缘层脱离芯线。

（2）软线绝缘层剥离要求

不准存在断股（一根细芯线称为一股）和长股（即部分细芯线较其余细芯线长，出现端头长短不齐），因长股的细芯线就是断裂在绝缘层内部的断股。剥离绝缘层后的芯线，出现断股或长股时，应切断后重新剥离绝缘层。

3．塑料护套线

这种导线只能进行端头连接，不允许进行中间连接。它有两层绝缘结构，外层统包着两根（双芯）或三根（三芯）同规格绝缘硬线，称为护套层。在剥离芯线绝缘层前应先剥离护套层。

（1）护套层的剥离

通常都采用电工刀进行剥离，方法如图 6-60 所示，其操作步骤如下：

1）用电工刀刀尖在所需长度界线上开始，从两芯线凹缝中划破护套层。

2）剥开已划破的护套层。

3）把剥开的护套层向切口根部扳翻，并切断。这时应注意：在剥离过程中，务必要防止损伤芯线绝缘层，特别在步骤①的操作时，应始终沿着两芯线凹缝划去，切勿偏离，以免切着芯线绝缘层。

（2）芯线绝缘层的剥离（见图 6-61）

芯线绝缘层的剥离方法与塑料绝缘硬线端头绝缘层剥离方法完全相同。但切口相距护套层至少 10mm。所以，实际连接所需长度应以绝缘层切口为准，护套层切口长度应加上这段错开长度。



图 6-60　塑料护套线护套层的剥离

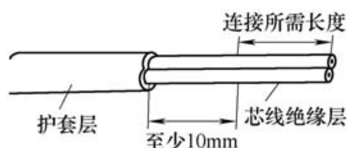


图 6-61　塑料护套线芯线绝缘层的剥离

4．橡胶软电缆（又叫做橡胶护套线或橡皮软线）

（1）护套层的剥离方法

护套层的剥离方法，如图 6-62 所示，其步骤如下：

1）用电工刀从端头任意两芯线缝隙中割破部分护套层。

2）把割破已可分两片的护套层连同芯线（分成两组）一起进行反向分拉来撕破护套层，当撕拉难以破开护套层时，再用电工刀补割，直到所需长度时为止。

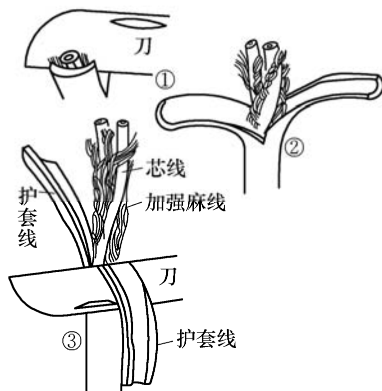


图 6-62　橡胶软电缆护套层的剥离方法



3）扳翻已被分割的护套层，在根部分别切断。

（2）麻线扣结方法（见图 6-63）

这种软线不是作为电动机具的电源引线使用，就是作为田间临时电源馈线使用，因而受外界的拉力较大，故在护套层内除有芯线外，尚有2～5 根加强麻线。这些麻线不应在护套层切口根部剪去，应扣结加固，余端也应固定在插头或电动机具内的防拉压板中，以能使这些麻线来承受外界拉力，保证导线端头不遭破坏。扣结方法如下：

1）把全部芯线捆扎住后扣结，位置应尽量靠在护套层切口根部。

2）余端压入防拉压板后扣结。

（3）绝缘层的剥离方法（见图 6-64）

每根芯线绝缘层可按塑料绝缘软线的方法进行剥离。但护套层与绝缘层之间也应错开，要求和注意事项与塑料护套线的相同。

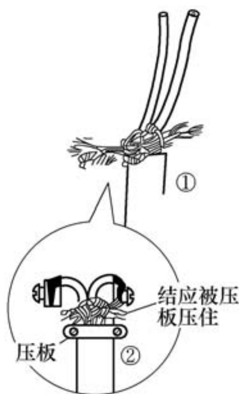


图 6-63　橡套软电缆麻线扣结方法

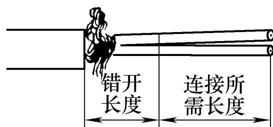


图 6-64　橡套软电缆芯线绝缘层的剥离方法

6.5.2　单股铜芯导线的一字形（直线）连接

单股铜芯导线的一字形（直线）连接步骤如下：

1）将被连接的两导线的绝缘层削掉，清理干净（见图 6-65①）。

2）将两导线线芯 2/3 长度处绞在一起，成 X 形（见图 6-65②）。

3）一手握钳，另一手将一线芯按顺时针方向紧绕在另一线芯上（见图 6-65③，绕数圈，把多余部分剪掉，并用钳子将线芯掐住压紧（见图 6-65④）。

4）用同样方法把另一芯线缠绕好，圈数相同（见图 6-65⑤）。



第①步



第②步



第③步



第④步



第⑤步

图 6-65　单股铜芯导线的一字形（直线）连接



6.5.3 单股铜芯导线的 T 字形连接

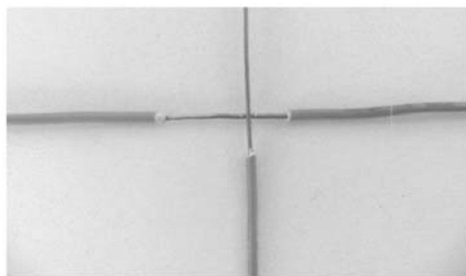
单股铜芯导线的 T 字形连接步骤如下：

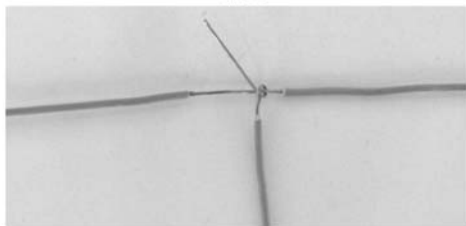
1）将被连接的两导线的绝缘层削掉，清理干净（见图 6-66①）。

2）将支路芯线的线头与干线芯线十字相交后按顺时针方向缠绕支路芯线（见图 6-66②）。

3）缠绕数圈后，剪去余下的芯线，并剪平芯线末端（见图 6-66③）。

4）较小截面积的芯线，应先环绕结扣，再把支路线头扳直，紧密缠绕数圈，随后剪去多余芯线，剪平切口毛刺（见图 6-66④）。


第①步


第②步

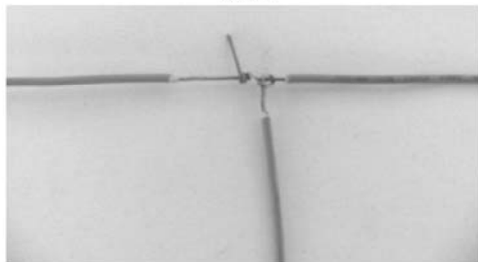
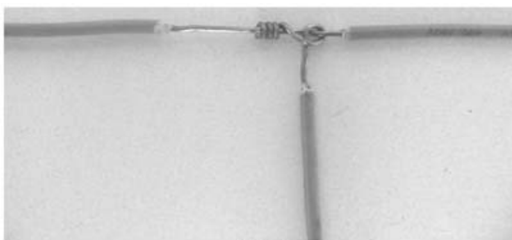

第③步

图 6-66 单股铜芯导线的 T 字形连接



第④步

图 6-66　单股铜芯导线的 T 字形连接（续）

6.5.4　双股导线的连接

双股导线的连接步骤如下：

1）将被连接的两导线的绝缘层削掉，清理干净（见图 6-67①）。

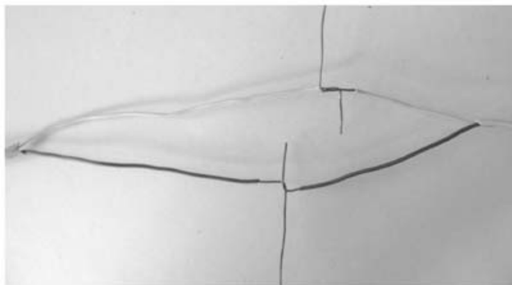
2）双股导线同色连同色，进行 X 形交叉（见图 6-67②）。

3）将一根同色导线按照单股铜芯导线的一字形连接方法进行连接（见图 6-67③）。

4）将另外一根导线也用同样的方法连接好（见图 6-67④）。



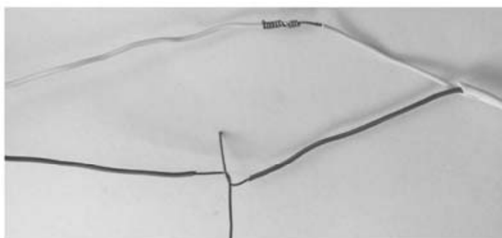
第①步



第②步

图 6-67　双股导线的连接





第③步



第④步

图 6-67　双股导线的连接（续）

6.5.5　多股导线的一字形（直线）连接

多股导线的一字形（直线）连接步骤如下：

1）将被连接的两导线的绝缘层削掉，清理干净（见图 6-68①）。

2）把两个多股导线散开拉直，并将 *l*/3 长的导线绞紧，然后把 2*l*/3 长的导线分散成伞状（见图 6-68②）。

3）把两股导线的伞状芯线头隔根对插（见图 6-68③）。

4）捏平插入后的所有芯线，并理直每股芯线，使每股芯线的间隔均匀（见图 6-68④）

5）将第一组的 2 根芯线扳起并垂直于芯线，按顺时针方向紧绕 2～3 圈（见图 6-68⑤、⑥）。

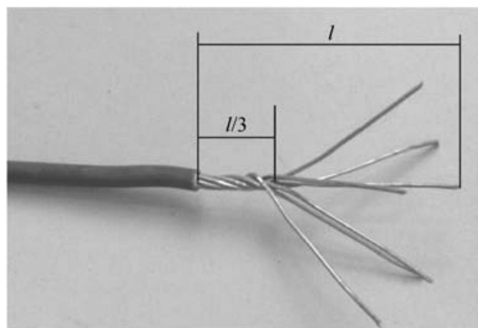
6）把第二组的 2 根芯线仍按顺时针方向紧紧压住前 2 根芯线，缠绕 2～3 圈。

7）把最后一组的 3 根芯线按上述方法顺时针方向紧紧压住前 4 根芯线缠绕 3～4 圈。最后切去每组多余长度的芯线，平整端部，去除毛刺（见图 6-68⑦）。

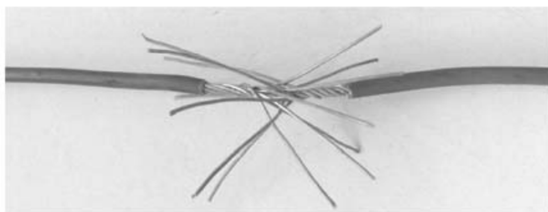
8）用上述同样方法缠绕另一边芯线（见图 6-68⑧）。



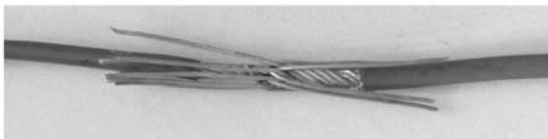
第①步



第②步



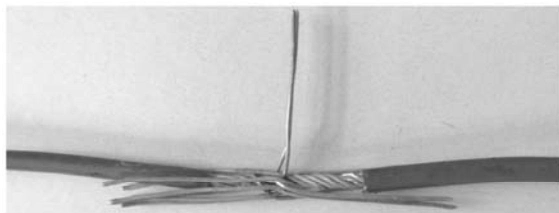
第③步



第④步

图 6-68　多股导线的一字形连接





第⑤步



第⑥步



第⑦步



第⑧步

图 6-68　多股导线的一字形连接（续）

6.5.6　多股导线的 T 字形连接

多股导线的 T 字形连接步骤如下：

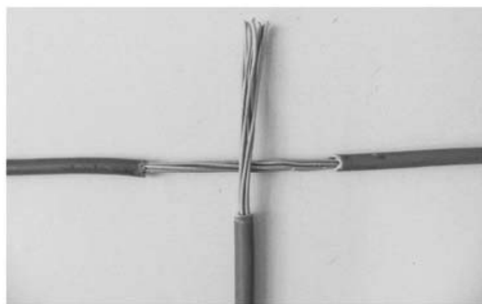
1）将被连接的两导线的绝缘层削掉，清理干净（见图 6-69①）。

2）用螺钉旋具将干路芯线均匀地分为两组，然后将支路芯线拉直，也分成两组（见图 6-69②）。

3）将支路线芯的一组从干路线芯的中间穿过（见图 6-69③）。

4）把两组支路芯线紧紧绕在干路线芯上（见图 6-69④、⑤）。

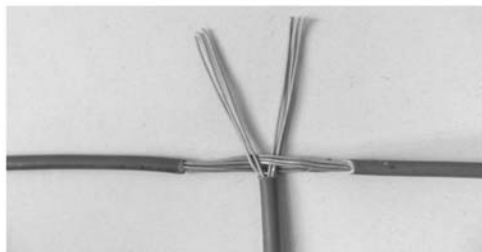
5）最后如图 6-69⑥所示，每边紧紧缠绕 4～5 圈后，钳平线端。



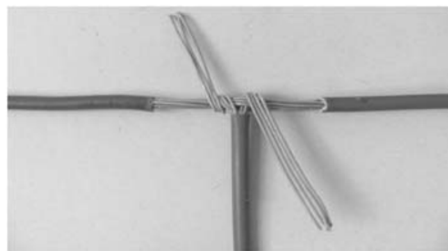
第①步



第②步



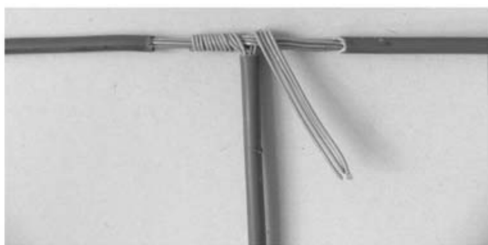
第③步



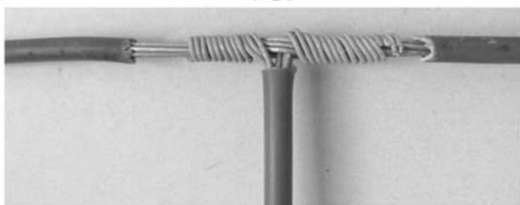
第④步

图 6-69　多股导线的 T 字形连接





第⑤步



第⑥步

图 6-69 多股导线的 T 字形连接（续）

6.5.7 不等径导线的连接

不等径导线的连接步骤如下：

1）将被连接的两导线的绝缘层削掉，清理干净（见图 6-70①）。

2）将细导线接线头在粗导线接线头上缠绕 4～8 圈，然后将粗导线线头弯折压住细导线的缠绕层（见图 6-70②）。

3）再用细导线将折回的粗导线缠绕 2～5 圈，剪去多余的线头，钳平切口（见图 6-70③）。

6.5.8 导线的封端

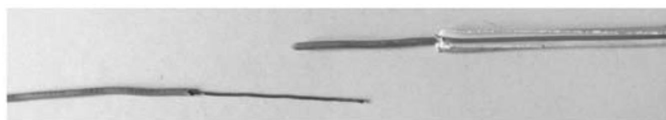
对于导线截面积大于 $10mm^2$ 的多股铜、铝导线，一般都必须用接线端子（又叫做接线鼻子）对导线端头进行封端，再由接线端与电气设备相连。

1．铜芯导线的锡焊封端

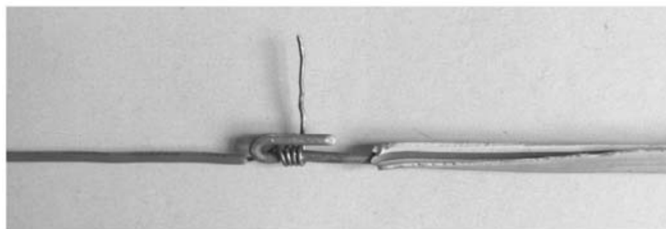
铜芯导线的锡焊封端，如图 6-71 所示，步骤如下：

1）剥离铜芯导线端部分绝缘层，除去芯线表面和接线端子内壁的氧化膜，涂以无酸焊锡膏。

2）用一根粗铁丝系住铜接线端子，使插线孔口朝上并放到火里加热。



第①步



第②步



第③步

图 6-70　不等径导线的连接



图 6-71　铜芯导线锡焊封端的方法



3）把锡条插在铜接线端子的插线孔内，使锡受热后熔解在插线孔内。

4）把芯线的端部插入接线端子的插线孔内，上下插拉几次后把芯线插到孔底。

5）平稳而缓慢地把粗铁丝和接线端子浸到冷水里，使液态锡凝固，芯线焊牢。

6）用锉刀把铜接线端子表面的焊锡除去，用砂布打光后包上绝缘带，即可与电器接线柱连接。

2．铜芯导线的压接封端

铜芯导线的压接封端，如图6-72所示，步骤如下：

1）把剥去绝缘层并涂上石英粉-凡士林油膏的芯线插入内壁也涂上石英粉-凡士林油膏的铜接线端子孔内。

2）用压接钳进行压接，在铜接线端子的正面压两个坑，先压外坑，再压内坑，两个坑要在一条直线上。

3）从导线绝缘层至铜接线端子根部包上绝缘带。

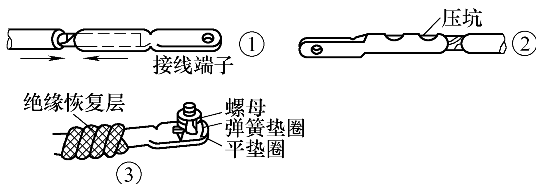


图6-72　铜芯导线压接封端

3．铝芯导线的封端

铝芯导线一般采用铝接线端子压接法进行封端。铝接线端子的外形及规格如图6-73所示，其各部分尺寸见表6-2。

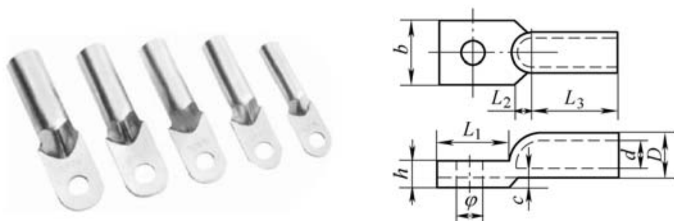


图6-73　铝接线端子的外形及规格

表 6-2　铝接线端子尺寸

适用导线截面积/mm^2	端子各部分尺寸/mm									压模深/mm
	d	D	c	L_1	L_2	L_3	b	h	φ	
16	5.5	10	1	18	5	32	17	3.6	6.5	5.4
25	6.8	12	1	20	8	32	17	4.0	8.5	5.9
35	7.7	14	1	24	9	32	20	5.0	8.5	7.0
50	9.2	16	1	28	10	37	20	5.0	10.5	7.8
70	11.0	18	1	35	10	40	25	6.5	10.5	8.9
95	13.0	21	1	36	11	45	28	7.0	13.0	9.9

铝芯导线用压接法进行封端的方法如图 6-74 所示，其步骤如下：

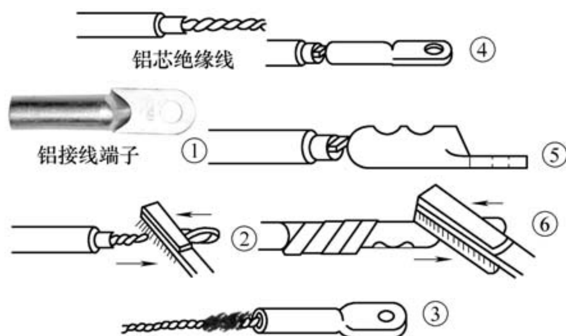


图 6-74　铝芯导线用压接法进行封端

1）根据铝芯导线的截面积查表 6-2 选用合适的铝接线端子，然后剥去芯线端部绝缘层。

2）刷去铝芯导线表面氧化层并涂上石英粉-凡士林油膏。

3）刷去铝接线端子内壁氧化层并涂上石英粉-凡士林油膏。

4）铝芯线要插到孔底。

5）用压接钳在铝接线端子正面压两个坑，先压靠近插接孔处的第一个坑，再压第二个坑，压坑的尺寸见表 6-3。

6）在剖去绝缘层的铝芯导线和铝接线端子根部包上绝缘带（绝缘带要从导线绝缘层包起），并刷去接线端子表面的氧化层。

表 6-3　铝接线端子压接坑尺寸

压 坑 位 置	电线截面积/mm²	铝接管尺寸/mm			管压接尺寸/mm	
		d_1	d_0	L	B	C
	2.5	1.8	3.8	31	2	4
	4	2.3	4.7	31	2	4
	6	2.8	5.2	31	2	4
	10	3.6	6.2	31	2	4
	16	5.2	10	62	2	4
	25	6.8	12	62	2	4
	35	7.7	14	62	2	4
	50	9.2	16	71	3	4
	70	11	18	77	4	4
	95	13	21	85	4	4
	120	14.5	22.5	95	5	4
	150	16	24	100	5	4

6.5.9　线头与接线桩的连接

线头与接线桩（见图 6-75）的连接方法是依靠置于孔顶部的压紧螺钉压住线头（线芯端）来完成电连接的。电流容量较小的接线桩，一般只有一个压紧螺钉。电流容量较大的，或连接要求较高的，通常有两个压紧螺钉。

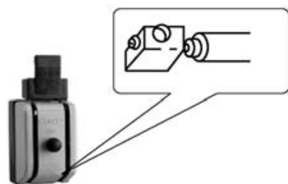


图 6-75　接线桩

1．单股线芯头的连接方法

在通常情况下，线芯直径都小于孔径，且多数都可插入两股线芯，所以必须把线头的线芯折成双股并列后插入孔内，并应压紧螺钉顶住的双股线芯的中间，如图 6-76a 所示，如果线芯直径较大而无法插入双股线芯，就应在单股线芯插入孔前把线芯端头略折一下，折转的端头翘向孔上部，如图 6-76b 所示。这样就能有效地防止线头从稍有松动的孔中脱出了。

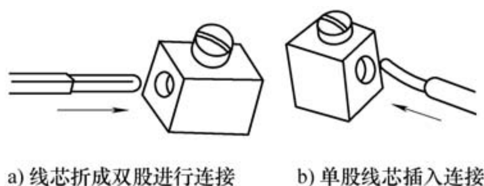


图 6-76　单股线芯与柱型端子

2．多股线芯头的连接方法

连接时，必须把多股线芯按原拧绞方向用钢丝钳进一步绞缠紧密，要保证多股线芯受压紧螺钉顶压时而不松散。由于多股线芯的载流量较大，孔上部往往有两个压紧螺钉，连接时应先拧紧第一枚压紧螺钉（近断口的一枚），后拧紧第二枚，然后再拧紧第一枚和第二枚，要反复加拧两次。在连接时，线芯直径与孔径的匹配一般应比较相称，尽量避免出现孔过大或过小的现象。三种情况的工艺处理如下：

1）在线芯直径与孔径大小较匹配时，在一般用电场所，把线芯进一步绞紧后装入孔中即可，如图 6-77a 所示。若在用电危险场所，为了防止线头可能从孔中脱出，应做如下处理：线头绝缘层应剥去多一些，在进一步将线芯绞紧前，线芯端头分三级剪去多余部分。以 7 股线为例，宜 2 股剪得最短；4 股稍长，长出单股线芯直径的 4 倍；另 1 股最长，长出应能在 4 股稍长线芯上紧缠两圈的需要量，待多股线芯作进一步绞紧后，把这股最长线芯紧缠在端头上。这样，能使线头的线芯端子略大些，在压紧螺钉松动时，即使导线稍受外力牵拉，也不易脱出孔。

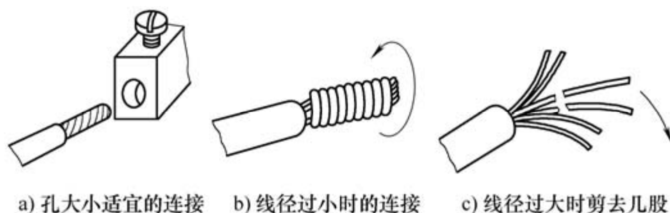


图 6-77　多股线芯与柱型端子的连接方法

2）在线径过小时，可用一根单股线芯在已作进一步绞紧后的线芯上进行紧密的排绕一层，如图 6-77b 所示，然后进行连接。

3）线径过大时，通常是导线载流密度选用过低所致，所以，可把处



于中心部位的线芯剪去（7 股线剪去一股，19 股线剪去 1～7 股），然后重新绞紧，进行连接，如图 6-77c 所示。

3．线头与螺钉端子的连接方法

线头与螺钉端子的连接方法是依靠开槽盘头螺钉的平面，并通过垫圈紧压导线线芯来完成电连接的。对于电流容量较小的单股线芯，在连接前，应把线芯弯成压接圈（也叫做“羊眼圈”）。对于电流容量较大的多股线芯，在连接前，一般都应在线芯端子安装接线耳。但在电流容量不太大且线芯截面积不超过 $10mm^2$ 的 7 股线连接时，也允许把线头线芯弯成多股线芯的压接圈进行连接。此外。各种连接的工艺要求和操作方法如下：

1）连接的工艺要求。压接圈和接线耳必须压在垫圈下边，压接圈的弯曲方法必须与螺钉的拧紧方向保持一致，导线绝缘层切不可压入垫圈内，螺钉必须拧得足够紧，但不能用弹簧垫圈来防止松动。连接时，应消除垫圈、压接圈及接线耳上的油垢。

2）单股导线压接圈的弯法，工艺步骤和操作方法如图 6-78 所示。

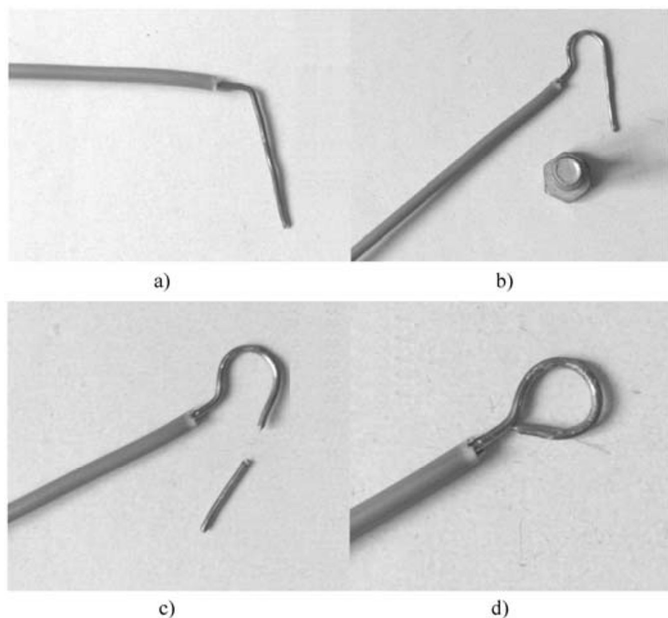


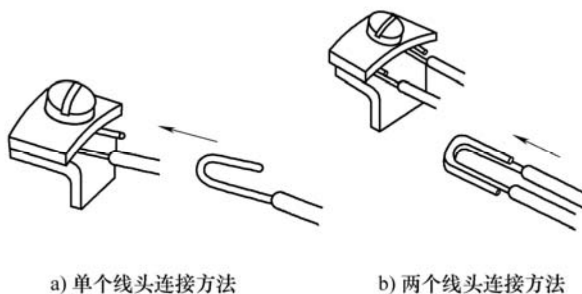
图 6-78　单股线芯压接圈的弯法

4．线头与具有瓦形垫圈的螺钉连接

线头与具有瓦形垫圈的螺钉（见图 6-79）的连接方法与线头与螺钉端子的连接方法基本相同，只是垫圈采用瓦形构造。为了防止线头脱落，在连接时应将线芯做如图 6-80a 所示的方法进行处理。如果需把两个线头接入同一个线端子时，应按图 6-80b 所示的方法进行连接。



图 6-79　瓦形垫圈的螺钉端子



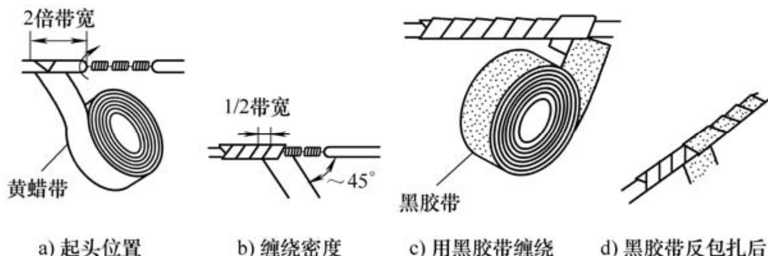
a) 单个线头连接方法　　b) 两个线头连接方法

图 6-80　导线线头与具有瓦形垫圈的螺钉端子的连接方法

6.5.10　导线绝缘层的恢复

绝缘电线绝缘层恢复包扎所用的材料有黄蜡带、黑胶带、涤纶薄膜带等，绝缘带宽选用 15～20mm，根据导线直径大小而定。

对于低压导线（220～380V）包扎 1～2 层黄蜡带或涤纶薄膜带，最后再包一层黑胶带即可。包缠时，从导线左边完整的绝缘层上开始包缠，包缠两根带宽后方可进入无绝缘层的芯线部分，如图 6-81a 所示。



a) 起头位置　　b) 缠绕密度　　c) 用黑胶带缠绕　　d) 黑胶带反包扎后

图 6-81　绝缘带包缠方法



包缠时，黄蜡带（黑胶带）与导线保持约 45°的倾斜角，每圈压叠带的 1/2（见图 6-81b）。

包缠一层黄蜡带后，将黑胶布接在黄蜡带的尾端，按另一斜叠方向包缠一层黑胶布，也应每圈叠压前面带宽的 1/2（见图 6-81c、d）。绝缘带或纱带包缠完毕后的末端用纱线绑扎牢固，或用绝缘带自身套结扎紧，方法如图 6-82 所示。黑胶带具有粘性，可自做包封。

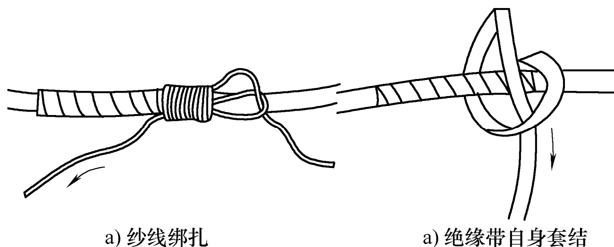


图 6-82　绝缘带或纱带末端的防散处理

6.6　照明设备安装技术

6.6.1　白炽灯

图 6-83 所示就是白炽灯，白炽灯的发光原理是将灯丝通电加热到白炽状态，利用热辐射发出可见光的电光源。白炽灯具有结构简单、使用可靠、安装方便、价格低廉等优点。缺点是发光效率低，寿命短，一般仅有 1000h，能耗高。



图 6-83　白炽灯及其结构

1．白炽灯的灯头盒安装

白炽灯的灯头盒安装步骤如图 6-84～图 6-91 所示。



图 6-84　准备好圆木和灯头盒

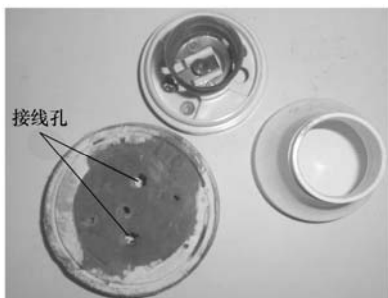


图 6-85　拆开灯头盒并在圆木上钻好接线孔

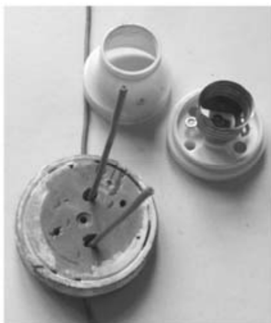


图 6-86　将电源线穿入圆木并固定在安装位置

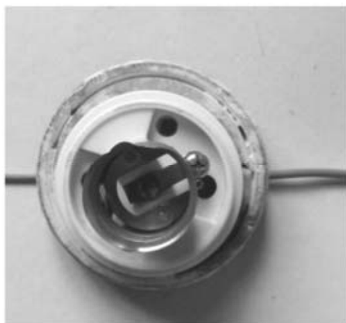


图 6-87　将灯头盒固定在圆木上



图 6-88　将电源线正确地压接在灯头盒上

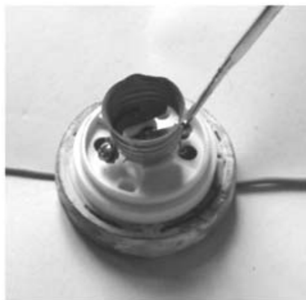


图 6-89　相线接中心弹簧片，中性线接螺口接线柱



图 6-90　装上灯头盒盖



图 6-91　安装白炽灯，检查合格后通电试灯

2．白炽灯的螺口灯头安装

白炽灯的螺口灯头安装步骤如图 6-92～图 6-97 所示。

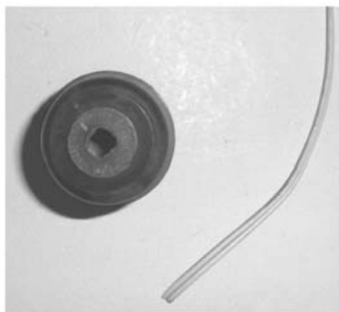


图 6-92　准备好螺口灯头和电线



图 6-93　打开螺口灯头盖穿入电源线

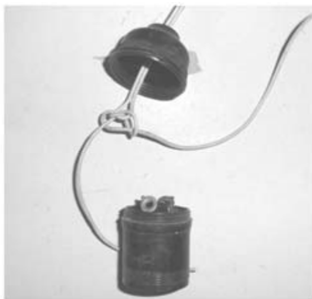


图 6-94　将电源线打一个电工结



图 6-95　剥开线头绝缘并压接在接线柱上



图 6-96　接线合格后，装上螺口灯头盖



图 6-97　装好白炽灯

6.6.2　荧光灯

荧光灯如图 6-98 所示，是应用最广的气体放电光源，具有发光效率高、寿命长、光色柔和等优点，但是功率因数低、附件多。荧光灯广泛用于照度要求较高的室内照明。



图 6-98　荧光灯

荧光灯的安装步骤如下：

（1）准备灯架

根据荧光灯管的长度，购置或制作与之配套的灯架。

（2）组装灯具

荧光灯灯具的组装，就是将镇流器、辉光启动器、灯座和灯管安装在灯架上，如图 6-99 所示。组装时必须注意，镇流器应与电源电压、灯管功率相配合，不可随意选用。由于镇流器比较重，又是发热体，应将其扣装在灯架中间或在镇流器上安装隔热装置。辉光启动器规格应根据灯管功率来确定。辉光启动器宜装在灯架上便于维修和更换的地点。两灯座之间的距离应准确，防止因灯脚松动而掉落。吸顶灯架应留有空隙，以便通风。



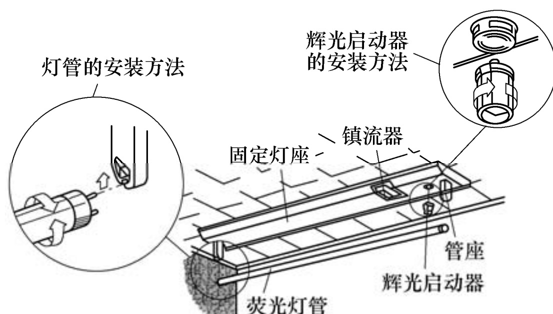


图 6-99　荧光灯的安装

接线方法是：辉光启动器座上的两个接线端分别与两个灯座中的一个接线端连接，余下的接线端，其中一个与电源的中性线相连，另一个与镇流器的一个出线头连接。镇流器的另一个出线头与开关的一个接线端连接，而开关的另一个接线端则与电源中的一根相线相连。与镇流器连接的导线既可通过瓷接线柱连接，也可直接连接，但要恢复绝缘层。接线完毕，要对照电路图仔细检查，以免错接或漏接。

（3）固定灯架

固定灯架的方式有吸顶式和悬吊式两种。悬吊式又分为金属链条悬吊和钢管悬吊两种。安装前先在设计的固定点钻孔预埋合适的紧固件，然后将灯架固定在紧固件上。

（4）通电调试

将辉光启动器旋入底座，把荧光灯管装入灯座，检查无误后，即可通电试用。

6.7　照明开关

1．照明开关的种类

照明开关分为明装式和暗装式两种，明装式和暗装式照明开关的品种、规格和适用范围见表 6-4、表 6-5。

2．照明开关的安装

（1）明开关的安装

明开关安装时，应先敷设线路，然后在装开关处打好木枕，固定木台，并在木台上装好开关底座，然后接线，如图 6-100 所示。

表 6-4 明装式照明开关的品种、规格和适用范围

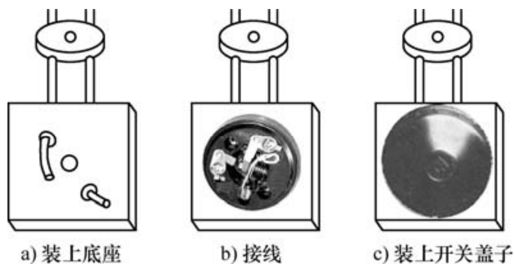
名称	图示	品种	额定电压/V	额定电流/A	适用场所
普通拉线开关		胶木瓷质	250	3	户内一般场所普遍应用
顶撞式拉线开关		胶木瓷质	250	3	户内吊装式灯座（挂线盒与开关合一）
防水式拉线开关		瓷质	250	5	户外一般场所或户内有水汽、漏水等严重潮湿场所
平开关		胶木瓷质	250	3 5 10	户内一般场所

表 6-5 暗装式照明开关的品种、规格和适用范围

图示	产品名称	型号	额定电压/V	额定电流/A
	普通型单联单控开关	86K11-6	250	6
	普通型单联双控开关	86K12-6		
	普通型单联单控开关	86K11-10		10
	普通型单联双控开关	86K12-10		
	普通型单联多控开关	86K14-10		

（续）

<table>
<tr><th>图　示</th><th>产 品 名 称</th><th>型　号</th><th>额定电压/V</th><th>额定电流/A</th></tr>
<tr><td rowspan="4"></td><td>普通型单联单控开关</td><td>86K11-15</td><td rowspan="16">250</td><td rowspan="2">15</td></tr>
<tr><td>普通型单联双控开关</td><td>86K11-20</td></tr>
<tr><td>普通型单联单控开关</td><td>86K12-20</td><td rowspan="2">20</td></tr>
<tr><td>普通型单联双控开关</td><td>86K12-20</td></tr>
<tr><td rowspan="6"></td><td>普通型双联单控开关</td><td>86K21-6</td><td rowspan="2">6</td></tr>
<tr><td>普通型双联双控开关</td><td>86K22-6</td></tr>
<tr><td>普通型双联单控开关</td><td>86K21-10</td><td rowspan="2">10</td></tr>
<tr><td>普通型双联双控开关</td><td>86K22-10</td></tr>
<tr><td>普通型双联双控开关</td><td>86K21-15</td><td rowspan="2">15</td></tr>
<tr><td>普通型双联双控开关</td><td>86K22-15</td></tr>
<tr><td rowspan="6"></td><td>普通型三联单控开关</td><td>86K31-6</td><td rowspan="2">6</td></tr>
<tr><td>普通型三联双控开关</td><td>86K32-6</td></tr>
<tr><td>普通型三联单控开关</td><td>86K31-10</td><td rowspan="2">10</td></tr>
<tr><td>普通型三联双控开关</td><td>86K32-10</td></tr>
<tr><td>普通型三联单控开关</td><td>86K31-15</td><td rowspan="2">15</td></tr>
<tr><td>普通型三联双控开关</td><td>86K32-15</td></tr>
</table>



a) 装上底座　b) 接线　c) 装上开关盖子

图 6-100　明装开关的安装

（2）暗开关的安装

暗开关安装时，先将开关盒（铁盒、木盒或塑料盒）按施工图要求位置预埋在墙内。埋设时可用水泥砂浆填充，埋设时注意平整，开关盒口

面应与墙的粉刷层平面一致，然后在预埋的暗管内穿线，并将暗开关接线，盖上开关板，如图 6-101 所示。

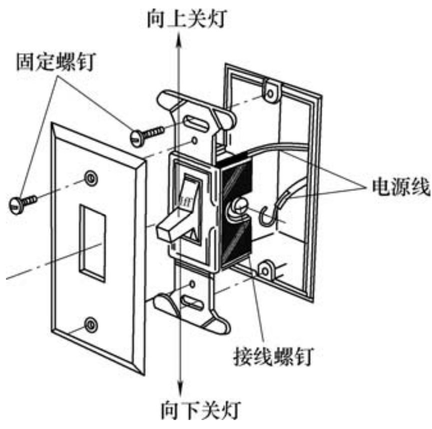


图 6-101　暗开关的安装

6.8　插座

1．插座的种类

插座分为明装式和暗装式两种，其中明装式插座的品种、规格和适用范围见表 6-6，而暗装式插座的品种、规格和适用范围见表 6-7。

表 6-6　明装式插座的品种、规格和适用场所

名　称	图　示	型　号	额定电压/V	额定电流/A	适 用 场 所
单相二极插座		ZM12-10	250	10	固定安装在室内墙上供二次插头连接电源用
单相三极插座		ZM13-10		10	固定安装在墙上，供三极插头连接电源用
		ZM13-15		15	
		ZM13-20		20	
		ZM13-30		30	

（续）

名　　称	图　　示	型　　号	额定电压/V	额定电流/A	适 用 场 所
双联单相二极、三极插座		ZM223-10	250	10	固定安装在墙上，供二极、三极插头连接电源用
带开关的单相二极双用插座		ZM12-TK6		6	固定安装在墙上，供二极插头用，附有开关可启闭插座电路
带开关的三相三极插座		ZM13-K6		6	固定安装在墙上，供三极插头用，附有开关可启闭插座电路

表 6-7　暗装式插座的品种、规格和适用场所

名　　称	图　　示	型　　号	额定电压/V	额定电流/A	适 用 范 围
普通型二极插座		86Z12-10	250	10	
安全型二极插座		86Z12T-10		10	安全型插座插孔与插座套之间有一保护门，插头两足同时插入时才能打开保护门进行电连接，适用于家庭及儿童活动场所
带开关的三极插座		86Z13-15		15	供三极插头用，附有开关可启闭插座电路

（续）

名　称	图　示	型　号	额定电压/V	额定电流/A	适 用 范 围
防溅三极插座		86Z13F-10	250	10	有防溅盖，插头拔出时放下盖，则四周封闭，防止水滴入插孔。适用于医院、厨房、厕所及潮湿地方
二、三极两用插座		86Z223-10		10	使用时最好配用无调整板接线盒

2．插座的安装

插座的安装步骤如图 6-102～图 6-107 所示。



图 6-102　准备好插座



图 6-103　检查插座应无缺陷

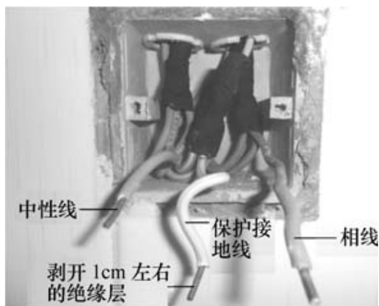


图 6-104　分出中性线、相线、保护接地线，剥开 1cm 左右绝缘层



图 6-105　按要求压接导线





图 6-106　将插座固定在墙上



图 6-107　扣好保护盒

3．插头的安装

插头的安装如图 6-108～图 6-111 所示。



图 6-108　准备好插头和导线



图 6-109　拆开插头、剥开绝缘层



图 6-110　将导线正确地压在插头上



图 6-111　装好插头

今天问答题



1. 室内布线的施工步骤是什么?
2. 怎样勒直护套线?
3. 怎样在瓷绝缘子上绑扎导线?
4. 怎样配合土建工程预埋插座盒及管路?
5. 多股导线怎样进行 T 字形连接?
6. 不等径导线怎样进行连接?
7. 导线的绝缘层怎样进行恢复?

第 7 天

学习电动机的安装、运行与维护技术



上午（8:00 ~ 11:30）

7.1 电动机的基本结构

电动机的基本结构如图 7-1 所示，主要由定子和转子两大部分组成。

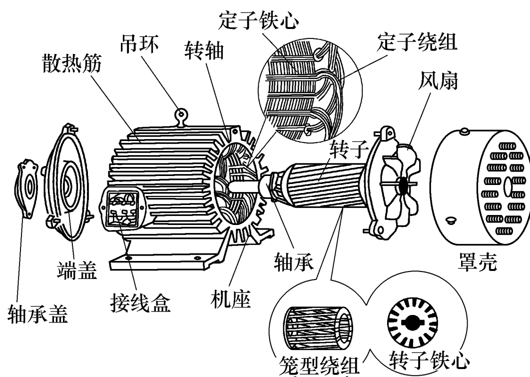


图 7-1 电动机的基本结构

1．定子部分

定子是异步电动机的静止部分，它主要由定子铁心、定子绕组和机座等部件组成，见表 7-1。

2．转子部分

转子是电动机转动部分的总称，它是由转子铁心、转子绕组、转轴及风扇等组成，见表 7-2。它的作用是输出机械转矩。

表 7-1　电动机定子部分的结构

名　称	图　示	说　明
定子铁心	实物图 a) 开口槽 b) 半开口槽 c) 半闭口槽	定子铁心是异步电动机主磁通磁路的一部分。为了减少旋转磁场在铁心中引起的涡流损耗和磁滞损耗，定子铁心由导磁性能较好、厚度为 0.5mm 且冲有一定槽形的硅钢片叠压而成。对于容量较大（10kW 以上）的电动机，在硅钢片两面涂上绝缘漆，作为片间绝缘 在定子铁心内开有均匀分布的槽，槽内放置定子绕组。图中所示的定子槽，其中图 a 是开口槽；图 b 是半开口槽，用于中型 500V 以下的异步电动机；图 c 是半闭口槽，用于低压小型电动机中
定子绕组	实物图	定子绕组是电动机的电路部分，如图所示。三相异步电动机的定子绕组有三个，每个绕组有若干个线圈。中、小型电动机线圈的导线，一般采用高强度聚酯漆圆铜线。在线圈和铁心之间，垫有青壳纸和聚酯薄膜、黄蜡绸等，作为槽间绝缘。在铁心槽口上装有槽楔，槽楔用竹子或胶木板制成。三相绕组的 6 根引线连接到机座外壳上的接线盒中，按国家标准规定，新生产的电动机，接线柱标有 U_1、V_1、W_1、V_2、U_2、W_2 的标志，三相绕组可根据要求接成星形或三角形，绕组的布置可分为单层或双层

（续）

名　　称	图　　示	说　　明
机座	实物图	机座是用来固定、支撑定子铁心、定子绕组、端盖和转子的，同时它还起着保护电动机整体和发散电动机运行中所产生热量的作用。机座一般是用铸铁或铝铸成，如图所示

表 7-2　电动机转子部分的结构

名　　称	图　　示	说　　明
转子铁心	铸铝转子 铁心冲片 普通型转子铁心　双笼型转子铁心　深槽型转子铁心	转子铁心的作用与定子铁心相同，一方面作为电动机磁路的一部分，另一方面用来安放转子绕组。它是用厚度为 0.5mm 且冲有转子槽形的硅钢片叠压而成，中小型电动机的转子铁心一般都直接固定在转轴上，而大型异步电动机的转子则套在转子支架上，然后让支架固定在转轴上

（续）

名　　称	图　　示	说　　明
转子绕组		转子绕组是产生感应电流的回路。按转子结构的不同，可分为笼型（俗称鼠笼型）转子绕组和绕线转子绕组两大类型 笼型转子绕组的结构与定子绕组完全不同，每个转子槽内只嵌放一根铜条或铝条，在铁心两端槽口处，铜条或铝条连接起来，构成一个短接的导电回路。如果去掉转子铁心，留下来的短接导体回路结构很像一个鼠笼，笼型异步电动机的名称即因此而来。目前国产中、小型功率的笼型异步电动机，大都是在转子铁心槽中，将熔化的铝液一次性浇铸成笼型转子。有的还在端环上同时铸出许多叶片，作为冷却用的风扇
转轴		转轴是用来传递功率的，由中碳钢制成，两端的轴颈与轴承相配合，一般支撑在端盖上，轴的伸出端铣有键槽，用来固定带轮或联轴器，并与被拖动的机械相连

3．其他部分及气隙

1）轴承：被用来连接异步电动机的转动和静止这两部分，在中、小型异步电动机中均采用滚动轴承，以减小运转中的摩擦，如图 7-2 所示。

2）轴承盖：一般是铸铁件，用来保护和固定轴承，并防止润滑油外流及灰尘进入，如图 7-3 所示。



图 7-2　电动机的轴承



图 7-3　电动机的轴承盖



3）端盖：由两侧盖与轴承组成，端盖一般由铸铁制成，用螺钉固定在机座两端，其作用是安装固定轴承，支撑转子和遮盖电动机。

4）外风罩与外风叶：如图 7-4 和图 7-5 所示，封闭式三相异步电动机为加大其散热能力，在电动机后侧端盖外面的转轴上还装置有一个外风叶，用以将机座散热片传导出来的电动机内部热量排放冷却。外风罩则用来保证外风叶安全顺利地运行。



图 7-4　电动机的外风罩



图 7-5　电动机的外风叶

5）异步电动机的定子与转子之间的气隙：气隙一般为 0.2～2mm。气隙的大小，对电动机的运行性能影响很大。气隙越大，由电网供给的励磁电流也越大，则功率因数越低，要提高功率因数，气隙应尽可能地减小。但由于装配上的要求及其他原因，气隙又不能过小。在表 7-3 中列出了部分机座号的最小气隙。

表 7-3　部分机座号的最小气隙

极　数	机　座　号						
	3	4	5	6	7	8	9
	气隙值/mm						
2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.8	1.1	1.6
4	0.28	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	1.9
6		0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.65
8		0.3	0.4	0.45	0.5	0.6	0.65

7.2　科学合理选择电动机

7.2.1　电动机选用的基本要求

电动机选用的基本要求如下：

1）选择节能高效型新品种、新型号。在选择电动机时，要了解和掌握电动机发展动态，选择新型电动机和国家有关部门推荐使用的产品。Y 系列电动机应为首选产品，而 J、JO、JO2 等系列都是已淘汰的电动机。

2）根据机械负载的需要、当地的电网要求、工作制及工况条件，合理地选择电动机。

3）根据使用环境温度、工作场所，合理选择电动机的防护等级和结构型式。

4）根据经济费用合理选择电动机。必须合理计算电动机的采购费用、安装费用、使用费用和报废费用。在市场经济条件下，必须综合考虑投资费用。

7.2.2　电动机类型的选择

电动机类型的选择应根据使用场所的不同合理选择。首先应根据配套机械的负荷特性和使用环境，选择不同类型的电动机。例如，用于起动静止负荷或惯性负荷较大的机械（压缩机、粉碎机等），可以选用高起动转矩电动机；当需要机械有 2～4 种转速时，可以选用多速电动机；当需要机械有较高的起动转矩时，可以选用绕线转子电动机。又如，当配套机械用于灰尘较多、水土飞溅场所时（球磨机、磨粉机、碾米机），可选用封闭式电动机；当机械在腐蚀性环境中运行时，可选用化工防腐式电动机；当设备在矿井等有爆炸危险的环境中使用时，可选用防爆电动机。

7.2.3　电动机转速的合理选择

各种生产机械都有一定的额定转速。通常，应根据所拖动机械的转速要求，合理选用与转速相对应的电动机。选择电动机转速的原则是，生产机械配用电动机后，电动机和生产机械必须都在各自的额定转速下运行。也就是当电动机直接带动生产机械时，电动机的额定转速应等于生产



机械所要求的转速。

但是在实际生产中，电动机的转速是有限和有一定规律的，不可能与各种生产机械的转速都相同。比如说，三相异步电动机的极数一般有2极、4极、6极、8极、10极等几种，它们对应的同步转速为3000r/min、1500r/min、1000r/min、750r/min、600r/min。由于转子速度比同步转速约低 2%～5%，因此，上述各种极数的电动机的转速约为 2900r/min、1450r/min、960r/min、740r/min、580r/min。如果生产机械的转速与电动机的转速不同，而且相差很多，则可选择转速稍高于生产机械转速的电动机，然后通过传动带或齿轮等变速装置减速，使两者在各自的额定转速下运行。

7.2.4　电动机功率的合理选择

电动机功率的选择，应根据生产机械所需要的功率来确定，尽量使电动机在额定负载下运行。电动机的容量选得过小，就会造成电动机长期过载运行，使其绝缘结构因发热而损坏，甚至电动机被烧毁。如果电动机的容量选择过大，就会使其输出功率不能得到充分利用，功率因数和效率都不高，造成电能的浪费。

下面根据不同的机械工作方式讨论合理选择电动机功率的方法。

1．恒定负载连续工作方式的电动机

如果已经知道负载的功率（即生产机械轴上的功率）P_1（kW），则可按下式计算所需电动机的功率 P（kW）：

$$P = \frac{P_1}{\eta_1 \eta_2}$$

式中　η_1——生产机械的效率；

η_2——电动机的效率，也就是传动效率。

由于电动机都是系列化、标准化产品，按上式求出的功率，不一定能与国家的系列化产品功率相同。因此，所选电动机的额定功率应等于或稍大于计算所得功率。比如计算所得功率为 7.1kW，但是电动机没有7.1kW 这个规格，可选用 7.5kW 的电动机。

2．短时工作方式的电动机

短时工作方式，是指电动机运行时间较短而停止工作的时间较长，且在停歇时间内，电动机能冷却到周围环境温度。电动机短时运行时，允

许过载，工作时间越短，允许过载越大，但过载量必须小于电动机最大转矩。短时工作方式的电动机，其功率的选择公式是

$$电动机容量 \geqslant \frac{生产机械所需功率}{\lambda}$$

式中　λ——电动机过载系数，λ=电动机最大转矩/电动机额定转矩。

3．重复短时工作方式的电动机

重复短时工作方式（即断续周期工作方式），是指电动机运行时间 t_g 和停止时间 t_0 周期地交替，工作时电动机的温升没有达到稳定值，停歇时电动机的温度又未降到周围环境的温度。专供重复短时运行的交流异步电动机有 JZ 和 JZR 系列电动机，可以根据所需的负载持续率（ε）来选择。ε 的数学表达式为

$$\varepsilon = \frac{t_g}{t_g + t_0} \times 100\%$$

重复短时工作方式的电动机，其负载持续率（ε）分为 15%、25%、40%和 60%四种，额定工作周期是 10min。

4．根据生产机械的铭牌或产品说明书选择电动机

如果生产机械的铭牌上或产品说明书中标有所要求的电动机的容量，则按要求的容量选配电动机即可。如果生产机械的铭牌上或产品说明书中没有明确规定使用多大容量的电动机，或者生产机械是自行制造的，可采用类比法来选择电动机的容量。也就是根据周围类似生产机械使用的电动机的容量，然后选用相近容量的电动机带动生产机械运行，同时用钳形电流表测量电动机的工作电流。将测得的工作电流与该电动机铭牌上标出的额定电流进行对比。如果电动机的实际工作电流与铭牌上标出的额定电流相差不大，则表明所选电动机的容量合适。如果电动机的实际工作电流比铭牌上标出的额定电流低 70%左右，则表明电动机的容量选得过大，应调换容量较小的电动机。如果测得的电动机工作电流比铭牌上标出的额定电流大 40%以上，则表明电动机的容量选得过小，应调换容量较大的电动机。

7.2.5　传动装置的合理选择

1．传动装置的分类和选择

将电动机的转矩传递到生产机械上的器件，称为电动机的传动装置。

电动机与生产机械之间的传动方式分为直接传动和间接传动两种。通常，如果电动机和生产机械的转速相同，则可采用联轴器将电动机和生产机械直接连接起来，这种传动方式叫做直接传动，如图 7-6 所示。直接传动具有结构紧凑、效率高、设备简单、运行安全可靠的优点。

如果生产机械的额定转速与电动机的额定转速相差很大，就不宜采用直接传动方式，而应采用变速装置进行传动，这种传动方式叫做间接传动，如图 7-7 所示。

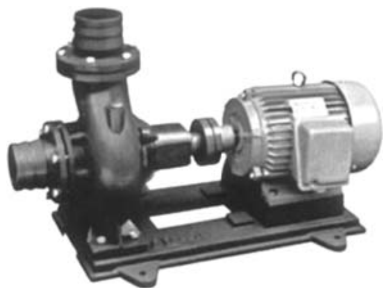


图 7-6　电动机的直接传动

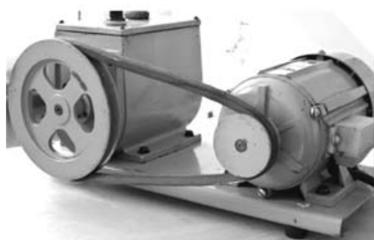


图 7-7　电动机的间接传动

2．胶带传动的分类和选择

胶带传动的优点是传动效率高，工作平稳，能缓冲，成本低，拆装方便，并且在过载时胶带“打滑”（俗称“丢转”），从而使电动机不受到损坏，因此胶带传动应用较广。

（1）分类

按传动胶带的截面形状，胶带传动分为平胶带传动和三角胶带传动两种。其中，平胶带传动又分为开口式、交叉式和半交叉式三种。开口式平胶带传动适用于电动机轴与负载机械轴平行且转动方向一致的场合（见图 7-8），交叉式平胶带传动适用于电动机轴与负载机械轴平行但转动方向相反的场合（见图 7-9），半交叉式平胶带传动适用于卧式电动机拖动立式机械的场合（见图 7-10），但功率较大时不宜采用。

（2）选择

如果传动比 a（电动机的转速与生产机械的转速之比）在 5 以下（最好在 3 以内），宜采用平胶带传动；如果传动比 a 在 5 以上（可达到 10），宜采用三角胶带传动。

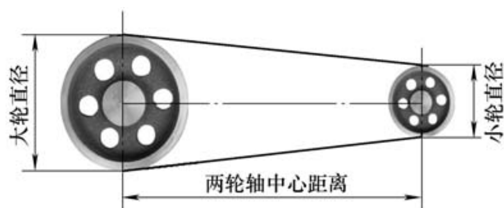


图 7-8　开口式平胶带传动

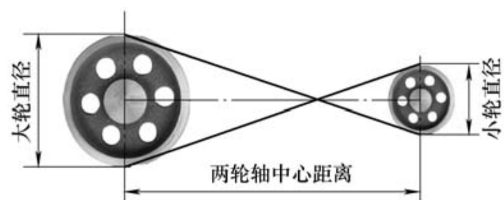


图 7-9　交叉式平胶带传动

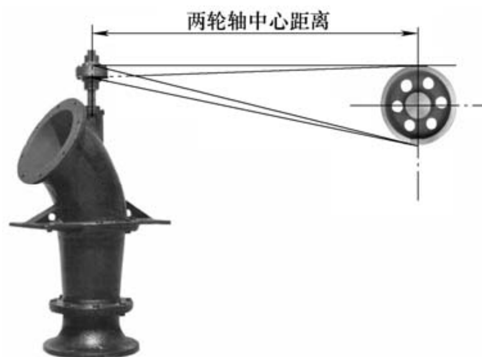


图 7-10　半交叉式平胶带传动

7.3　电动机的安装和接线

7.3.1　安装

1．电动机安装地点的选择

电动机安装地点的选择应考虑运行、操作、维护和修理的安全与方便，应安装在通风、干燥、灰尘较少的地点，尽量避免装在潮湿的场所。

电动机一般不露天安装，当必须装于室外时，应搭设简易凉棚，或采取其他防雷雨、防日晒的措施。

电动机安装地点的四周应留出一定的空间（与其他设备至少保持 1.3m 距离），以便于电动机的安装、检修、监视和清扫。

电动机的安装环境温度要适宜，周围空气温度在 40℃以下，无强烈的热辐射。

2．电动机底座基础的浇注和地脚螺栓的埋设

为了保证电动机能平稳地运转，应将其牢固地安装在固定的底座上。电动机的底座一般采用混凝土、砖或石块等做成，基础面积的大小应根据电动机底座来确定，每边一般比电动机底座大 100～150mm 左右，基础顶部应高出地面 100～150mm。基础的重量应大于机组重量的 1.5～2.5 倍。基础重量可根据所用材料估算：基础重量=基础平均面积（m^2）×基础高度（m）×每立方米重量（砖砌的基础每立方米约重 1600kg；混凝土基础每立方米约重 2200～2400kg）。

在基础砌筑过程中，要注意预埋安装电动机的地脚螺栓，也可以留好预备孔，待安装电动机时再装地脚螺栓。地脚螺栓的大小，应视电动机底座螺孔的大小而定，为防止地脚螺栓松动，应将埋入端做成钩形，如图 7-11 所示。

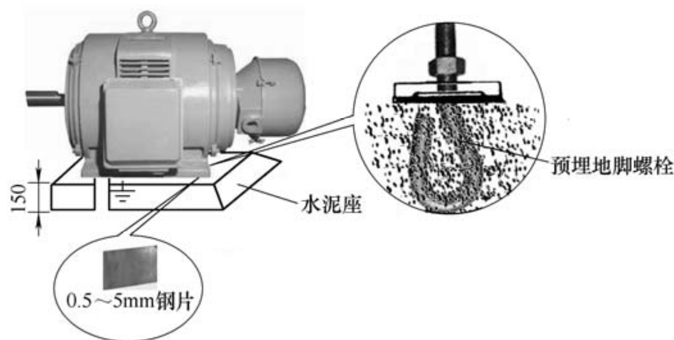


图 7-11　电动机基础及地脚螺栓的预埋

流动使用且功率小于 10kW 及以下的电动机，可以采用流动性或临时性基础。把机组安装在牢固的角铁支架上，支架可打桩固定，以防止电动机振动过大及出现跳跃现象。

3．电动机的安装

安装电动机时，100kg 及以下的小型电动机，可用人力抬到基础上；比较重的电动机，应用滑轮或起重器来安装。四个地脚螺栓上均要套用弹簧垫圈；拧螺母时要按对角交错次序拧紧，每个螺母要拧得一样紧。

穿导线的钢管或硬塑料管应在浇混凝土前埋好，连接电动机的一端管口离地不得低于 100mm，并应使它尽量靠近电动机的接线盒。

4．电动机的校正

电动机校正的好坏，是电动机安装质量的一个重要指标。如果让没有校正好的电动机带动生产机械工作，可能会出现振动、运行不稳等故障，缩短机器寿命。

（1）电动机的水平校正

电动机在基础上安装好后，应采用普通水平仪来校正电动机的纵向和横向水平。如不平，可用 0.5～5mm 厚的铁片垫在机座下（见图 7-11），注意不能用木片或竹片垫在机座下，以防拧紧螺母时或电动机在运行中，木片、竹片变形或破裂，影响安装质量。

（2）电动机带传动装置的校正

传动装置若安装校正不好，会增加电动机的负载，严重时会烧坏电动机的绕组和损坏电动机的轴承。

安装时两个带轮的直径大小必须配套，应按要求安装，大、小轮装错，会造成事故！必须使两个带轮轴相互平行，并且使两个带轮的宽度中心线在一条直线上；否则要增加传动装置的能量损耗，而且会损坏传动带，若是平带，则易造成脱带事故。

电动机带传动装置的校正方法如图 7-12 所示，如果两个带轮宽度相等，则可按图 7-12a 所示方法，用一根细绳拉紧并紧靠两个带轮的端面，若细绳均接触 *A*、*B*、*C*、*D* 四点，则表示已将带轮校正好，否则应进行调整。如果两个带轮的宽度不同，如图 7-12b 所示，可先在两个带轮上画出它们的中心线，然后拉紧一根细线，一端对准宽轮 *A*、*B* 这条中心线，如果两轴已平行，这时准绳的另一端就与 *C*、*D* 那条中心线重合。如果不重合，说明两轴不平行，应以大轮为准，调整小轮，直到平行为止。



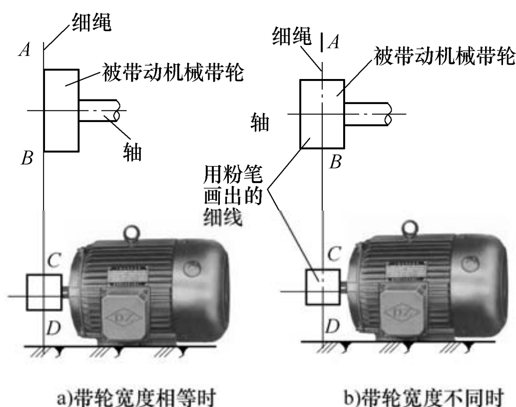


图 7-12　带轮的校正方法

（3）联轴器传动装置的校正

安装联轴器时，应把两片正、副联轴器分别装在电动机和机械的轴上，然后把电动机移近连接处，当两轴相对地处于一条直线上时，先初步拧紧电动机机座的地脚螺栓，但不要拧得太紧。接着用钢直尺，按图 7-13 所示的方法搁在两片联轴器上，然后用手转动电动机转轴，旋转 180°，看两片联轴器是否有高度差，若有高度差，可在两机底脚垫铁片或薄板，直至高度一致时，说明电动机和机械的轴已处于同轴状态，便可把联轴器和电动机分别固定好，最后拧紧地脚螺栓。

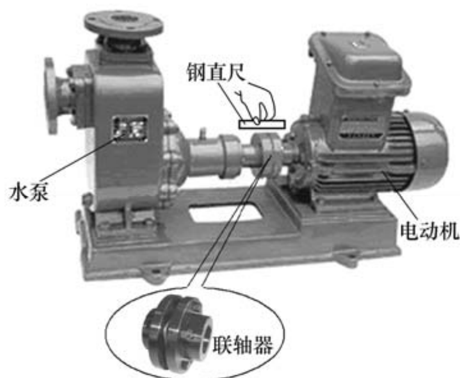


图 7-13　联轴器的安装和校正



下午（13:00 ~ 17:30）

7.3.2　接线

1．电动机常用起动保护设备和导线的正确选取

我国从 1988 年 1 月起停止生产 J2、JO2 等老系列三相异步电动机，用 Y 系列三相异步电动机取代。表 7-4 列出了与 Y 系列电动机相匹配的各种起动保护设备和导线的型号规格，供大家参考。

表 7-4　Y 系列电动机起动保护设备和导线选择表

电动机				选用熔断器				封闭式开关熔断器组	低压断路器	25℃	30℃	35℃
型号	功率/kW	额定电流/A	起动电流/A	RC1A	RL1	RM10	RT0	HH3 或 HH4	D25-20	BLV 导线截面积/mm² / 钢管直径/mm		
				额定电流/A				额定电流/A	热脱扣器额定电流/A			
Y 90S-2 Y 90L-4 Y 100L-6	1.5	3.4 3.7 4.0	24 24 24	15/10	15/10	15/10	15/10	15/10	4.5			
Y 90L-2 Y 100L1-4 Y 112M-6 Y 132S-8	2.2	4.7 5.0 5.6 5.8	33 35 34 32	15/15	15/15	15/15	50/15	15/15	6.5			
Y 100L-2 Y 100L2-4 Y 132S-6 Y 132M-8	3.0	6.4 6.8 7.2 7.7	45 48 47 43	15/15	60/20	60/20	50/20	15/15	10	2.5/15	2.5/15	2.5/15
Y 112M-2 Y 112M-4 Y132 M1-6 Y 132M1-8	4.0	8.2 8.8 9.4 9.9	57 62 61 59	30/20	60/25	60/25	50/30	30/20	10	2.5/15	2.5/15	2.5/15



（续）

电动机				选用熔断器				封闭式开关熔断器组	低压断路器	25℃	30℃	35℃
型号	功率/kW	额定电流/A	起动电流/A	RC1A	RL1	RM10	RT0	HH3 或 HH4	D25-20	BLV导线截面积/mm² / 钢管直径/mm		
				额定电流/A				额定电流/A	热脱扣器额定电流/A			
Y 132S1-2	5.5	11	78	30/30	60/35	60/35	50/30	30/30	15	2.5/15	2.5/15	2.5/15
Y 132S-4		12	81									
Y 132M2-6		13	82									
Y 160M2-8		13	80									
Y 132S2-2	7.5	15	105	60/40	60/50	60/45	50/40	60/40	20	2.5/15	2.5/15	2.5/15
Y 132M-4		15	108									
Y 160M-6		17	111									
Y 160L-6		18	97									
Y 160M1-2	11	22	153	60/60	100/80	60/60	50/50	60/60	30	4/20	4/20	6/20
Y 160M-4		23	158									
Y 160L-6		25	160									
Y 180L-8		25	151									
Y 160M2-2	15			100/80	100/80	100/80	100/60	60/60	40	10/25	10/25	16/25
Y 160L-4		29	206									
Y 180L-6		30	212									
Y 200L-8												
Y 160L-2	18.5	36	249	100/80	100/80	100/80	100/80	—	50	16/25	16/25	16/25
Y 180M-4		36	251									
Y 200L1-6		38	245									
Y 225S-8		41	248									
Y 180M-2	22	42	295	100/100	100/100	100/80	100/80	—	50	16/25	10/25	25/32
Y 180L-4		43	298									
Y 200L2-6		45	290	100/100	100/100	100/80	100/80	—	50	16/25	25/32	25/32
Y 225M-8		48	280									
Y 200L1-2	30	57	398	—	—	200/160	200/120	—	60	25/32	25/32	35/40
Y 200L-4		57	398									
Y 225M-6		60	387									
Y 250M-8		63	378									

2．电动机的接线

（1）电动机绕组出线端的标志

三相定子绕组每相都有两个引出头，一头叫做首端，另一头叫做末端。三相绕组的六个线头都引到电动机的接线盒内，并用大写英文字母作标志。按现行的国家标准，用 U_1、V_1、W_1 表示各相绕组的首端；用 U_2、V_2、W_2 表示各相绕组的末端（旧标准中用 D_1、D_2、D_3 表示各相绕组的首端，用 D_4、D_5、D_6 表示末端）。三相异步电动机定子绕组出线端标志见表 7-5。

表 7-5　异步电动机定子绕组出线端标志

定子绕组相数	1965 年国家标准		现行的国家标准	
	首端	末端	首端	末端
第一相	D_1	D_4	U_1	U_2
第二相	D_2	D_5	V_1	V_2
第三相	D_3	D_6	W_1	W_2

（2）电动机的星形（Y）联结

三相定子绕组的六根线头可将三相定子绕组接成星形或三角形。星形联结（用符号Y表示）是将三相绕组的末端并联起来，即将 U_2、V_2、W_2 接线柱用铜片连接在一起，而将三相绕组的首端分别接入三相交流电源，即将 U_1、V_1、W_1 分别接入 L_1、L_2、L_3 三相电源上，如图 7-14 所示。

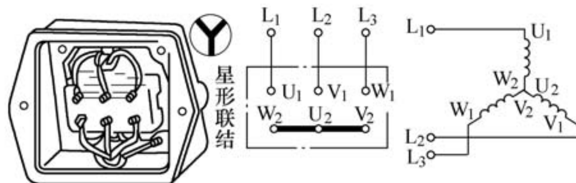


图 7-14　电动机的星形联结

（3）电动机的三角形（△）联结

电动机的三角形联结，是将第一相绕组的首端 U_1 与第三相绕组的末端 W_2 连接在一起，再接入一相电源；第二相绕组的首端 V_1 与第一相绕组的末端 U_2 接在一起，再接入第二相电源；第三相绕组的首端 W_1 与第



二相绕组的末端 V_2 接在一起，再接入第三相电源。也就是在接线柱 U_1 和 W_2、V_1 和 U_2、W_1 和 V_2 分别用铜片连接起来，再分别接入三相电源，如图 7-15 所示。

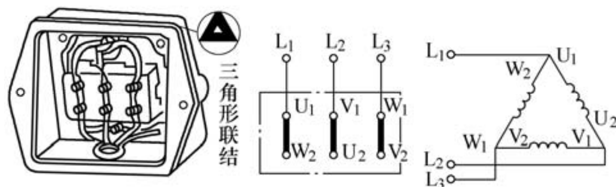


图 7-15　电动机的三角形联结

（4）电动机的引线和控制

每台电动机应有单独的操作开关，安装地点应便于操作，安装高度一般距地面为 1.5m。室外电动机的操作开关，应安装在电动机近旁的操作箱内。安装有多台电动机的工作场所，如车间、排灌站、加工作坊等，除每台电动机设置的操作开关外，应有总的动力控制箱。

自电动机开关到电动机起动器及接线盒之间的引线，由于其间距离较短，其截面积可依据电动机额定电流按允许载流量选择。对于那些重载起动的电动机，应再把导线截面积提高 1～2 级，以利起动。表 7-6 列出了常用电动机引线最小截面积的选择。

表 7-6　电动机引线最小截面积的选择

电动机额定电流/A	引线截面积/mm^2	
	铜线	铝线
1.5～6	1	1.5
7～10	1.5	2.5
11～20	2.5	4
21～30	4	6
31～45	6	10
46～60	10	16
61～90	16	35

电动机和附属装置的引线，最好采用有护套的绝缘电线。为安全起见，距地面 2.5m 以内的引线，应采用槽板或硬塑料管保护。当电动机引

线沿地面敷设时，可采用电缆、管线或电缆沟保护，引线不应有裸露部分。

场间用电和一些移动式电气设备在电源处必须装设有明显断开点的开关和短路保护装置，同时应装设漏电保护器。引线应采用耐油、耐气候型的铜芯橡胶护套软电缆，护套软电缆应完好无损，以免漏电伤人。

电源、起动设备、保护装置等与电动机的连接，应采用接线盒或其他安全措施，避免因导电体的外露而威胁人身安全。

（5）电动机外壳的保护接地

在电动机外壳上都有两个专门的接地螺栓，一定要把它引接到合格的接地装置上。在正常情况下，电动机外壳并不带电，人体接触到它并无触电危险。但是，当电动机绕组绝缘损坏或严重受潮时，外壳就会带电，人碰上去就会触电。要是电动机外壳接地，电就顺着接地线跑到地里，人即使碰到电动机外壳也没有什么危险。

7.3.3　电动机控制设备的安装和操作

1．电动机控制设备的安装要求

1）每台电动机一般应装设单独的操作开关或起动器，在条件许可或工艺需要时，也可一组电动机共用一套控制器件。

2）对于实行自动控制或联锁控制的电动机，应保证对每台电动机都能够进行单独手动控制。此外，在多点控制的电动机旁边还应装设就地控制和解除远方控制的开关。

3）如果在控制地点看不见电动机所拖动的机械设备，则宜装设指示电动机工作状态的信号、仪表，同时应在所拖动的机械旁边装设预报起动信号的装置或警铃，以免电动机突然起动而危及人身安全。此外，在所拖动的机械旁边还应装设事故紧急断电开关或按钮。

4）0.5kW 以下的电动机，允许使用开关进行电源通断的直接控制。频繁起动的电动机，则应在控制板上安装一只熔断器。

5）5.5kW 以下的电动机，允许采用开启式开关熔断器组进行控制，开关的额定电流应为电动机额定电流的 2.5 倍。安装时，最好将刀开关内的熔体用铜丝接通，然后在开关的后一级另安装一只熔断器作为过载和短路保护装置。

6）5.5kW 以上的电动机，应采用空气断路器、组合开关、接触器等控制。

7）10kW 以上容量较大的电动机，起动电流较大，为不影响同一电网中其他用电设备的正常运行，以及保证线路的安全，应加装起动设备，以减小起动电流。常用的起动设备有星形-三角形（Y-△）起动器和自耦减压起动器等。表 7-7 给出了常用减压起动器的技术数据，以供读者参考。

表 7-7　常用减压起动器技术数据

名　　称	型　　号	起动功率/kW	额定电流/A
油浸式自耦减压起动器	QJ3-10	10	22
	QJ3-14	14	30
	QJ3-20	20	43
	QJ3-28	28	59
	QJ3-40	40	85
	QJ3-55	55	120
	QJ3-75	75	145
	QJ3-100	100	200
空气式手动自耦减压起动器	QJ10-10	10	20
	QJ10-13	13	26
	QJ10-17	17	34
	QJ10-20	20	43
	QJ10-30	30	58
	QJ10-40	40	77
	QJ10-55	55	105
	QJ10-75	75	142
自耦减压起动器	XJ01-14	14	28
	XJ01-20	20	40
	XJ01-28	28	58
	XJ01-40	40	77
	XJ01-55	55	110
	XJ01-75	75	142
	XJ01-80	80	152
	XJ01-95	95	180
	XJ01-100	100	190

8）电动机的操作开关，一般应装在既便于操作时监视电动机的起动和运转情况，又能保证操作人员安全，且不易产生误动作的地点。

9）对于不需要频繁起动的小型电动机只需安装一个开关。而对于需要频繁起动，或者需要换向和变速操作的电动机，则应安装两个开关（实行两级控制）。第一个开关用来控制电源（常采用封闭式开关熔断器组、空气断路器或转换开关）；第二个开关用来控制电动机。

如果采用无明显分断点的开关（如电磁开关），则应在前一级装一个有明显分断点的开关（如刀开关、转换开关等）；如果采用容易产生误操作的开关（如手柄倒顺开关、按钮等），也应在前一级加装控制开关，以免因误操作而发生事故。

2．电动机控制设备的正确操作

操作电动机的控制设备时，必须保持正确的操作姿势：操作者应站在开关的侧面，面对电动机及其拖动的生产机械，双目注视合闸后电动机的起动、传动装置的传动和被拖动机械的转动情况。如果发现异常情况，应立即拉闸停电。不能推上合闸手柄就离开操作位置。电动机各种常用开关设备的正确操作方法如下：

（1）按钮的操作要求

按钮应一按到底，动作要快，以免电磁开关误动作。

（2）开启式开关熔断器组的操作要求

合闸时，要向上推足，使动触头刀片完全插入静触头座中；分闸时，要向下拉到底，切不可使手柄停留在刚离开静触头的位置上。

（3）封闭式开关熔断器组的操作要求

切勿开盖进行分、合闸操作（开关的连锁机构损坏，在未修复前，作为例外情况可以一次性地开盖分、合闸）。

（4）空气断路器的操作要求

由于空气断路器的操作机构为快速分、合闸结构，操作时动作不宜过快，用力不宜过猛，以免损坏操作机构。

（5）组合开关的操作要求

操作组合开关时，手柄应按顺时针方向旋转，否则，手柄将被拧出轴柄。手柄每次变换到位时，会发出“嗒”声。如果没有发出声音，则应确认触头是否到位，以免造成误操作。

（6）起动器的操作要求

常见的操作机构是手柄合闸，按钮分闸。手柄的停位有三档：中间是空位，即分闸位，标有“停”字；内档是“起动”位；外档是“运转”位。起动电动机时，先将手柄推到“起动”位（不要松手），待电动机的转速稳定，声响均匀，再将手柄拉到“运转”位置。变位不要过快，否则，就不能完全达到减压起动的目的。停车时，只要按一下“停”按钮，电动机即停止运转。

7.4 电动机的起动试运行

7.4.1 起动前的检查

对于新装或停用时间较长的电动机，使用前必须进行检查，发现问题应及时处理，避免电动机“带病”运行。检查的主要项目包括：

1）检查电动机和起动设备的绝缘电阻。用500V绝缘电阻表测定，其绝缘电阻不得小于0.5MΩ。

2）检查电动机的外表有无裂纹，各紧固螺钉及零件是否齐全，电动机的固定情况是否良好，接地和接零保护是否可靠和符合要求。

3）根据铭牌所示数据，如电压、功率、频率、联结、转速等与电源、负载比较是否相符。

4）扳动电动机转轴，检查转子能否自由转动，转动时有无杂声。

5）检查电动机的通风情况及轴承润滑情况是否正常。

6）检查电动机传动机构的工作是否可靠，传动带松紧是否适度，连接是否牢固，联轴器的螺丝和销子是否紧固。

7.4.2 电动机起动时的注意事项

电动机起动时的注意事项如下：

1）合闸起动前，应检查电动机及拖动机械上或附近是否有杂物异物，以免发生人身和设备事故。第一次起动应不带负载空转试运行，待无问题后，再带上负载试起动、试运行。

2）操作电动机的开关设备时，操作人应站在开关旁边，合闸、拉闸都要果断迅速，不可中途停止。

3）合闸后，如果电动机不转，要果断地迅速拉闸，切断电源，检查熔丝及电源接线等是否有问题。绝不能合闸等待或带电检查，否则会烧毁电动机或发生其他事故。

4）起动后，若电动机转动缓慢，起动困难，声音不正常，或机械工作不正常，电流表、电压表指示异常等，都应立即切断电源检查，待查明原因、排除故障后，才能重新起动。

5）对于笼型电动机的星形-三角形起动或自耦减压起动，若是手动操作的，应注意起动操作顺序和控制好延时长短。

6）电动机不能在短时间内连续起动，以免起动设备和定子绕组过热。电动机在冷状态下，空载连续起动不应超过 3～5 次；在热状态下，不得超过 2 次。

7）多台电动机应避免同时起动，按容量从大到小逐台起动，以避免线路上的起动电流过大，电压下降太多，影响所有电动机的正常起动，甚至使开关设备跳闸。

7.4.3 电动机直接起动的要求

电动机直接起动的优点是安装简单、操作方便、一次性投在少，起动转矩大。缺点是起动电流大，对接于同一电网的其他用电设备产生影响。能否直接起动的要求如下：

1）电动机是按照直接起动方式而设计制造的。

2）电动机所拖动的生产机械应能承受直接起动的冲击转矩。

3）查看电源容量是否允许电动机直接起动，表 7-8 是按电源容量确定的能直接起动的电动机功率，可供读者参考。

表 7-8 按电源容量确定的能直接起动的电动机功率参考表

电 源 情 况	允许直接起动的电动机最大功率
单独变压器供电	电动机容量不超过变压器容量的 80%
高压线路	不超过电动机连接线路上的短路容量的 3%
变电所	经常起动时，不超过变压器容量的 20%
	偶尔起动时，不超过变压器容量的 30%



4）用计算法确定电动机能否直接起动。估算公式如下：

允许直接起动的电动机功率≤k×配电变压器容量

式中　k——安全系数。k 的取值受电动机的起动特性、电动机容量、电源供电线路的配置等因素的影响，k 的选取可以根据下列几种情况确定：一般情况下，k 取 0.2～0.3；当配电变压器的供电对象以动力负荷为主，电动机属轻载非频繁起动，起动电压对照明的影响可以忽略的情况下，k 可以取 0.3～0.35；当配电变压器对单独的电动机供电时，k 可取 0.65～0.75。

5）根据配电变压器的容量确定电动机能否直接起动的方法是参考表 7-9 中所列出的数据。

表 7-9　6（10）/0.4kV 变压器容量允许直接起动的电动机最大功率

供电变压器容量 S_b/kVA						起动时允许电压降（%）	变压器供电的其他负荷 S_p 和功率因数 $\cos\varphi$
100	180	320	560	750	1000		
起动电动机最大功率/kW							
22	40	75	115	155	215	10	$S_p = 0.5S_b$ $\cos\varphi = 0.7$
30	55	100	185	240	280	15	
17	30	75	100	130	185	10	$S_p = 0.5S_b$ $\cos\varphi = 0.8$
30	55	100	185	240	280	15	

注：表中所列数据是对电动机与变压器低压母线直接相连而言。

7.4.4　电动机的起动试运行操作方法

电动机的起动试运行是对电动机安装质量的全面检查，试运行的操作要求如下：

1）熟悉起动电动机的操作规程，掌握各类起动装置的操作方法。

2）合闸前要清除电动机周围的杂物，提示在场相关人员。

3）合闸时要眼看电动机，耳听响声。如果发现电动机不转、强烈振动、有异响、冒烟、着火等现象，必须立即切断电源。如果合闸后电动机运转正常，应在 1min 以后才能离开操作地点。

4）起动多台电动机时，要先起动容量大的，后起动容量小的，逐台起动。

5）如果电动机的负载有数个转动部分，应有人分别观察各转动部分，以便及时发现问题。

6）同一台电动机不可多次连续起动，因为较大的起动电流将使电动机绕组严重发热。通常，电动机空载连续起动不宜超过 5 次。

7）修理过的或长期闲置未用的电动机，试车时均应空转。只有空转试车合格，才可加负载试车。

8）在试运转过程中应跟踪测量电动机在空载状态和额定负载状态下的温升、起动电流、工作电流。如果这些参数正常，就可以投入正常运行。电动机空载时运行时间为 1～6h。

7.5　电动机常见故障的排除

1．电动机故障的检查步骤

电动机在使用中常见的故障一般可分为机械故障和电气故障两部分。为了能迅速找出故障原因，及时修复电动机，当故障不明时，可按下述步骤检查：

1）检查三相电源是否有电。

2）如果电源有电，应检查熔丝、开关及起动器是否有故障（如螺丝是否牢固、接线是否正确等）。

3）如果开关和起动设备完好，应卸下传动带或联轴器，使电动机空载运行，检查故障是否由负载引起。

4）如果故障发生在电动机本身，应打开接线盒，检查接线有无焦痕，是否断裂。

5）如果接线良好，应检查轴承是否损坏，润滑脂是否干涸、量少。

6）如果轴承也完好，应检查定子绕组有无焦痕、断裂、短路或碰壳故障。

7）最后检查转子是否有断条。

电动机发生故障时，往往会发生转速变慢、有噪声、温度显著升高、冒烟、有焦糊味、机壳带电和三相电流不平衡或增大等现象，通过对这些现象的归纳分析，从而有针对性地尽快找出故障。

2．电动机的常见故障检修方法（见表 7-10）



表 7-10 电动机的常见故障检修

故障表现	故障原因	检修方法
电动机不能起动	① 电源没有接通或断路 ② 电动机的绕组断路 ③ 绕组相间短路或接地 ④ 绕组接线错误 ⑤ 控制线路接错 ⑥ 过流继电器整定值过小	① 认真检查开关、熔断器、控制电器的触头、电动机的引出线，查出故障并排除 ② 如果是绕组的故障，就要及时送到维修站去维修 ③ 拆卸电动机，检查各绕组电阻值和接线情况，找出短路点、接地点并修复 ④ 重新判断绕组首末端，正确接线 ⑤ 检查控制线路的错误并纠正 ⑥ 调大过电流继电保护设备的整定电流
接通电源后电动机“嗡嗡”响但不转动	① 电源电压过低 ② 三相电源断相 ③ 绕组接错 ④ △联结绕组，错接成Y联结 ⑤ 装配不良，润滑不良 ⑥ 负荷过大或机械卡住	① 检查电源电压，并与供电部门联系解决 ② 检查三相电源，排除开关、熔断器故障 ③ 检查绕组接线，判断绕组首末端，重新正确接线 ④ 检查铭牌规定，改成△联结，考虑补偿起动 ⑤ 检查电动机轴承，重新装配，更换油脂 ⑥ 检查机械负载，排除机械故障或更换电动机
电动机起动时熔丝烧断或熔断器动作	① 电源断相 ② 一相绕组对地接地 ③ 熔丝电流过小 ④ 电源馈线断路 ⑤ 机械设备卡住	① 检查三相电源，找出断点并修复 ② 检查绕组对地绝缘强度，拆修电动机绕组 ③ 检查熔丝大小，重新计算后，更换新熔丝 ④ 检查电源馈线并更换 ⑤ 检查拖动机械，并排除机械故障

（续）

故障表现	故障原因	检修方法
电动机外壳带电	① 绕组受潮绝缘已经被破坏 ② 绝缘严重老化 ③ 错将相线当成接地线 ④ 引出线与接线盒相碰短路	① 检查绕组对地绝缘强度，并做烘干处理 ② 检查绕组绝缘，或直接更换绕组 ③ 检查电源接线并改正 ④ 检查接线盒，做好引出线绝缘处理
电动机空载或负载运行时，电流表指针摆动	① 绕线转子电动机有一相电刷接触不良或一相断路 ② 绕线转子电动机集电环短路装置接触不良 ③ 笼型转子断条或开焊	① 检查电刷，改善电刷与集电环的接触面；检查断路处，并排除 ② 检查短路装置，必要时要更换 ③ 检查转子，并利用开口变压器或其他方法检查
电动机起动困难，加额定负载后，电动机转速比额定转速低	① 电源电压过低 ② △联结绕组错接成Y联结 ③ 部分绕组接错 ④ 笼型转子断条	① 检查电源电压，与供电部门联系解决 ② 核对联结，重新改为△联结运行 ③ 检查绕组接线，重新判断绕组首末端正确接线 ④ 拆检电动机，并送维修站修理
电动机运行时振动过大	① 电动机地脚螺栓松动，或电动机安装不平衡，或基础强度不够 ② 轴承磨损严重，间隙不合格 ③ 气隙不均匀 ④ 转子不平衡 ⑤ 机壳强度不够 ⑥ 风扇不平衡 ⑦ 绕线转子的绕组短路 ⑧ 笼型转子开焊、断路 ⑨ 定子绕组出现接地、断路、短路、接线错误等故障 ⑩ 转轴弯曲 ⑪ 铁心变形或松动 ⑫ 齿轮接手松动或靠背轮或带轮安装不符合要求	① 检查地脚螺栓及时紧固或更换，找平电动机或将基础加固 ② 使轴承间隙符合要求 ③ 调整气隙，使符合要求 ④ 检查原因，经过清扫、紧固各部螺栓后校正平衡 ⑤ 增强机械强度 ⑥ 将风扇校正平衡 ⑦ 检查并及时维修绕组 ⑧ 进行补焊或更换笼条 ⑨ 修理定子绕组 ⑩ 校直转轴 ⑪ 校正铁心，然后重新叠装铁心 ⑫ 重新找正，或重新安装，或进行修理



（续）

故障表现	故障原因	检修方法
电动机运行时有杂音	① 齿槽配合不当 ② 轴承磨损严重 ③ 转子摩擦绝缘纸或槽楔 ④ 定子摩擦转子 ⑤ 定子绕组接线错误 ⑥ 绕组有短路、断路等故障 ⑦ 重绕时每相匝数不相等 ⑧ 轴承缺少润滑脂 ⑨ 风扇碰风罩或通风道堵塞 ⑩ 定、转子铁心松动	① 认真校验定子与转子槽的配合 ② 检修或更换轴承 ③ 剪修绝缘纸或槽楔 ④ 调整气隙 ⑤ 正确连接定子绕组 ⑥ 检查绕组，并排除故障 ⑦ 重新绕线，改正匝数 ⑧ 清洗轴承，添加润滑脂 ⑨ 修理风扇和风罩，清理通风道 ⑩ 查找振动原因，并排除
轴承发热	① 轴承型号选小，过载，使滚动体承受载荷过大 ② 轴承与轴颈或端盖配合过松或过紧 ③ 油封过紧 ④ 轴承内盖偏心，与轴承摩擦 ⑤ 轴承间隙过大或过小 ⑥ 滑动轴承油环转动不灵活 ⑦ 电动机与传动机构连接偏心或传动带过紧 ⑧ 润滑脂过多或过少；油质含杂质 ⑨ 电动机两侧端盖或轴承盖未装平 ⑩ 轴承有故障，磨损，有杂物等	① 选择合适的轴承型号 ② 过松时，可以用农机 2#胶粘剂或低温镀铁处理；过紧时，适当车细轴颈，使之符合配合工差的要求；检查轴承与端盖的间隙，并调整至合适 ③ 更换或修理油封 ④ 修理轴承内盖，使与轴的间隙适合 ⑤ 更换新轴承 ⑥ 检修油环，使油环尺寸正确，校正平衡 ⑦ 校准电动机与传动机构连接的中心线，并调整传动带张力 ⑧ 拆开轴承盖，检查油量。要求油脂填充至轴承室容积的 1/3～1/2；检查油内杂质，并更换洁净润滑脂 ⑨ 按正确工艺将端盖或轴承盖装入止口内，然后均匀紧固螺钉 ⑩ 更换损坏的轴承；对含有杂质的轴承要彻底清洗，换油

（续）

故障表现	故障原因	检修方法
电动机过热或冒烟	① 定子与转子摩擦 ② 电动机通风道不畅通或环境温度、进风温度过高 ③ 电源电压过高，使铁心磁通密度过饱和，造成电动机温升过高 ④ 绕组表面粘满尘垢或异物，影响电动机散热 ⑤ 笼型转子断条或绕线转子绕组接线松脱，电动机在额定负载下转子发热，使电动机温升过高 ⑥ 电动机频繁起动或正反转次数过多 ⑦ 电动机过载或拖动的生产机械阻力过大，使电动机发热 ⑧ 绕组匝间短路、相间短路以及绕组接地 ⑨ 灼线时，铁心被灼过，使铁耗增大 ⑩ 电动机两相运转 ⑪ 重绕后绕组浸渍不良 ⑫ 电源电压过低，在额定负载下电动机温升过高 ⑬ 绕组接线错误	① 检查故障原因，如果是由于轴承间隙超限，则应更换新轴承，如果转轴弯曲，则需要调直处理；铁心松动或变形时，应处理铁心，消除故障 ② 隔离电动机附近高温热源；不使电动机在阳光下曝晒；改善环境温度，采取降温措施 ③ 如果电源电压超过标准很多，应与供电部门联系解决 ④ 清扫或清洗电动机，并使电动机通风沟畅通 ⑤ 查明断条和松脱处，重新补焊或扭紧固定螺钉 ⑥ 减少电动机起动及正、反转次数或更换合适的电动机 ⑦ 排除拖动机械故障，减少阻力；根据电流指示，如超过额定电流，需减低负载；更换较大功率电动机或采取增容措施 ⑧ 查明绕组故障并及时修理 ⑨ 做铁心检查试验，检修铁心，排除故障 ⑩ 检查熔丝、开关触头，排除故障 ⑪ 要采取二次浸漆工艺，最好采用真空浸漆措施 ⑫ 若因电源线电压降过大而引起，可更换较粗的电源线；如果是电源电压过低，可向供电部门联系，提高电源电压 ⑬ Y联结电动机误接成△联结，或△联结电动机误接成Y联结，要改正接线



今天问答题



1．电动机的定子部分由哪几部分组成?

2．电动机的转子部分由哪几部分组成?

3．某生产机械的功率是 7.8kW，机械效率为 70%，如果选用机械效率为 80%的电动机，功率应该是多大?

4．电动机安装地点的确定有什么要求?

5．可以用开启式开关熔断器组控制功率为 7.5kW 的电动机吗?

6．现有一台容量为 30kVA 的变压器为一台 15kW 的电动机供电，该电动机可以直接起动吗?

7．电动机在起动前需要做哪些检查?

8．电动机在运行中应做哪些监视?

9．电动机不能起动的故障原因有哪些?

10．电动机运行中轴承发热的故障有哪些?

第 8 天

学习电气故障维修技术



上午（8:00 ~ 11:30）

8.1 电气故障的查找方法及步骤

8.1.1 根据故障现象进行合理剖析

往往电气故障现象是多种多样的，有的电气故障虽然表现的现象不同，但是故障原因却相同，有的故障虽然表现的现象相同，但是故障原因却不同，这就需要透过表面看本质，深入了解故障现象的表现形式，利用电工基本知识，最终查找出故障原因，并彻底解决故障。

我们举个例子：某车间电动机不能运转。当知道这一故障现象时，我们应该首先询问下列情况：

1）电动机是否安装后第一次使用就不能运转？

2）电动机是否已经工作很长时间，在此之前是否一直运行正常？

3）电动机是否经过大修或保养后不能再运转了？

4）电动机电源是否更换过？

5）电动机控制电路是否改装过或更换过？整改后的电路是否是第一次使用？

6）电动机的控制开关是否更换过？是否更换开关后第一次使用？

7）是否是电动机起动后突然不能运转的？

8）是否是电动机已经起动后逐渐降低转速并慢慢停止运转的？

9）周围的工作环境是否改变过？

10）操作人员是否是第一次操作？

从以上不同的问题，我们可以看到，导致电动机不能运转这一故障

的原因也许是很多，但只要找到了导致这一故障的外在诱因，并进一步排查，相信很快就能找到故障原因了。

所以说透过故障现象剖析故障原因是排查故障的重要环节。如果不能深入了解故障现象，那么很可能事倍功半。

8.1.2 电气故障原因的合理推理

根据故障现象分析推理故障原因，是查找排除故障的根本目的。推理故障原因除了要根据当时的故障现象外，还必须要有一定的电工基本理论知识，了解电气装置的构造、原理、性能等知识。导致某一电气故障的原因往往是很多的，关键在于能在诸多原因中找到根本原因，并最终排除故障。

1．根据电气设备的状态推理故障原因

一般来说，电气装置的运行过程总可以分解成若干个连续的阶段，这些阶段就是电气设备的运行状态，比如电动机的工作过程可以分解为起动、运转、正转、反转、高速、低速、制动、停止等工作状态，电气故障总是发生于某一状态，而在这一状态中，各种电器元件又处于什么状态，这正是我们分析故障的重要依据。举个例子，电动机起动时出现了故障，那么在起动时会有哪些元件工作、哪些触头闭合等，因而查找电动机起动故障时只要注意这些元件的工作状态就可以了。

2．根据电气设备的电路图分析故障原因

电路图是用以描述电气装置的构成、原理、功能，提供装接和使用维修信息的依据。分析电气故障必然要使用各类电路图，根据故障情况，从图形上进行分析，这就是根据电气设备的电路图分析故障的方法。

电路图种类很多，如原理图、构造图、系统图、接线图、位置图等。分析电气故障时，常常要对各种图进行分析，并且要掌握各种图之间的关系，如由接线图变换成系统图，由位置图变换成原理图等。

3．分解电气设备剖析故障原因

电气装置一般是由各个单元构成的，分解电气设备，将每一个单元具有的特定功能逐一剖析，往往会发现故障原因并排除。

4．分解回路剖析故障原因

电路中任意闭合的路径称为回路。回路是构成电路的基本单元，分析电气故障，尤其是分析电路短路、断路故障，常常需要找出回路中元件、

导线及其连接，以此确定故障的原因和部位，往往会事半功倍。

5．逻辑剖析故障原因

电气装置中各组成和功能都有其内在的联系，比如连接顺序、动作顺序、电流流向、电压分配等，都有其一定的逻辑规律，所以某一部件、组件、元件的故障必然影响其他部分。

6．简化电气设备剖析故障原因

电气装置的组成部件、元件，虽然都是必需的，但从不同的角度去分析，总可以划分成主要部分和次要部分，剖析电气设备故障就要根据具体情况，注重分析主要的、核心的、本质的部件，这样简化后，就更容易查出故障原因，并最终解决。

比如，荧光灯的并联电容器，主要用于提高荧光灯负载的功率因数，它对荧光灯的工作状态影响不大，如果分析荧光灯电路故障，就可将电容器简化掉，然后再进行故障分析。

8.1.3　电气故障部位的正确定位

确定电气设备故障部位也就是确定电气设备的故障点，是最终解决故障的关键，比如找到短路点、损坏元件等。

确定电气设备故障部位是在对故障现象进行周密的考察和细致分析的基础上得出的。现在我们总结了几种方法供读者参考。

1．直接感知

有些电气设备故障可以通过人的感官，手、眼、鼻、耳等器官，采用摸、看、闻、听等手段，直接感知故障设备异常的温升、振动、气味、响声等，确定设备的故障部位。

2．仪器检测

许多电气设备故障靠人的直接感知是无法确定部位的，需要借助各种仪器、仪表，对故障设备的电压、电流、功率、频率、阻抗、绝缘电阻、温度、振幅、转速等进行测量，以确定故障部位。例如，通过测量绝缘电阻、吸收比、介质损耗，判定设备绝缘介质是否受潮；通过直流电阻的测量，确定长距离线路的短路点、接地点等。

3．类比法

有些情况，可采用与同类完好设备进行比较来确定故障原因，比如，一个线圈是否存在匝间短路，可通过测量线圈的直流电阻来判定，但直流



电阻多大才是完好的却无法判别，这时可以与一个同类型且完好的线圈的直流电阻值进行比较来判别。

4．试探法

在确保设备安全的情况下，可以通过一些试探的方法确定故障部位。例如，通电试探或强行使其某继电器动作等，以发现和确定故障的部位。

8.2 常见电源故障的检修

电源一旦出现故障，整个电路系统就不能运转了，甚至会造成设备损坏，因此查找诊断电源故障是非常重要的。

8.2.1 电源故障的查找方法

查找电源故障，要根据电源种类和特性，从故障现象入手，按从易到难的顺序进行。图 8-1 所示是查找电源故障的一般顺序和方法。

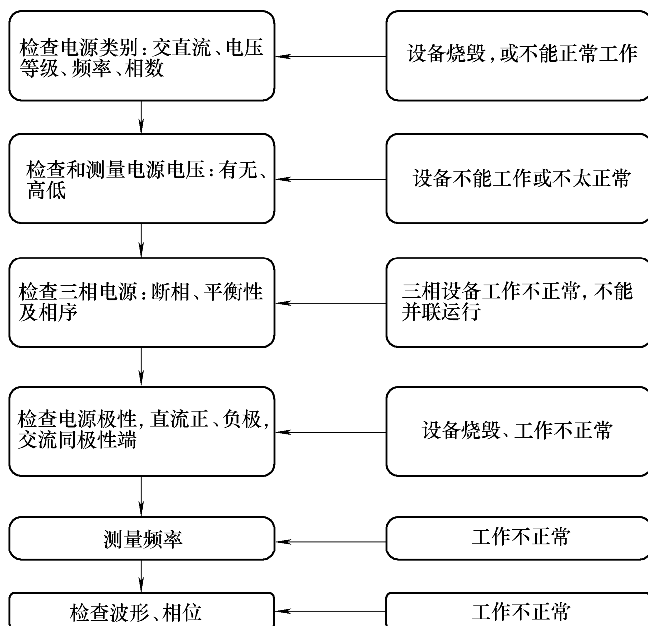


图 8-1　查找电源故障的一般顺序和方法

8.2.2　单相电源故障的检修

单相电源故障主要表现在相线和中性线接错（接反）上，虽然有些时候相线和中性线接错不会影响设备的正常运行，但会严重影响人们的安全用电，造成触电事故的发生。

查找单相电源的相线和中性线错接故障，首先要判别这种故障，其次要正确地找出相线和中性线。

1．错接故障的判别

我们总结了几种单相电源错接故障的现象，通常出现下列故障现象就可以判断为单相电源的相线和中性线接错了。

1）已经接地或接零的电气设备金属外壳有带电现象，可能是金属外壳接到相线上。

2）断开开关以后，电器两接线端子仍有电（确切地说，仍有高电压），那么可以断定相线和中性线接错了。

2．相线和中性线的识别方法

查找相线和中性线错接故障，必须正确地识别相线和中性线。识别的方法很多，大致可归纳为两大类：一是带电识别法，如用测电笔、万用表测量等；二是不带电识别法，主要是根据有关颜色、数字、符号标记等来识别。

（1）用测电笔识别的方法

在带电情况下，用测电笔识别相线和中性线是最简单的方法，就是测电笔发亮的为相线，不亮的是中性线。

（2）用万用表识别的方法

1）电压法。可以通过测量对地电压判别相线和中性线。首先选择一个接地良好的接地端，如接地线、金属自来水管等。然后用万用表的电压档测量，一端接电源线，一端接地，由于三相四线制系统中，中性线通常是接地的，因而电压档指示接近为零的，所测的那根电源线便是中性线，有电压指示的则为相线。

2）直接测量方法。将万用表拨到交流 750V 档，第一支笔接电源的任一端，第二支笔接大地。如果接地良好，就会指示 220V 电压值，那么可以判定第一支笔接的是电源的相线。若无数值显示或很小，则说明第一支笔接的就是中性线了。

（3）不带电识别的方法

在不带电情况下，主要根据有关规程、规范的规定判定判别相线和中性线。但这种判别只能作为参考。

1）根据导线的颜色判别，见表 8-1。

表 8-1　相线和中性线的颜色标志

序　号	类　别	颜 色 标 志	线　别	备　注
1	一般用途导线	红色	相线	
		黄色	相线	
		绿色	相线	
		浅蓝色	中性线	
2	保护接地中性线	绿-黄组合色	保护接地线中性线	颜色组合 3:7
3	二芯电缆	红色	相线	
		浅蓝色	中性线	
	三芯电缆	红、黄、绿色	相线	
	四芯电缆	红、黄、绿色	相线	
		浅蓝色	中性线	

2）根据导线的符号标记识别。根据国家规程对相线、中性线、接地线等的符号标记要求，根据这些符号标记就可以轻松识别相线和中性线了，表 8-2 列出了相线、中性线及其他有关的特性导线符号标记。

表 8-2　相线、中性线及其他导线的符号标记

序　号	导 线 名 称	标 记 符 号	备　注
1	交流系统电源线		旧符号标记为 a、b、c、o 或 A、B、C、O
	1 相	L_1	
	2 相	L_2	
	3 相	L_3	
	中性线	N	

（续）

序　　号	导 线 名 称	标 记 符 号	备　　注
2	交流系统设备端线		
	1 相	U	
	2 相	V	
	3 相	W	
	中性线	N	
3	直流系统电源线		
	正	+	旧符号标记为 a、b、c、o
	负	−	或 A、B、C、O
	中间线	M	
4	保护接地线	PE	
5	不接地保护线	PU	
6	保护接地线和中性线共用一线	PEN	
7	接地线	E	
8	无噪声接地线	TE	
9	与机壳、机架相接线	MM	
10	等电位线	CC	

3）根据导线数字标志判别。多芯电缆线芯采用数字标志，应符合以下标志：二芯电缆——0,1；三芯电缆——1,2,3；四芯电缆——0,1,2,3。其中，数字标志 1、2、3 为相线，数字标志 0 为零线或中性线。

8.2.3　三相电源故障的检修

正常的三相电源应该是三个线电压、三个相电压相等，相互之间互差 120° 相位角，且符合一定的顺序。这样的三相电源称为对称三相电源。如因某种原因，破坏了这种对称关系，因而影响到三相电路和三相设备的正常运行，就属于三相电源故障。

1．相序故障的诊断

在三相系统中，许多情况对电源相序都有严格的要求，如果相序接



错，很可能会出现严重的电气设备故障。比如导致三相电动机反转、水泵不能抽水、工作机械不能起动甚至会导致变压器产生巨大的冲击环流，对电网和发电机产生巨大的破坏作用等。

诊断三相相序故障，最主要的是检查、测定三相电源的相序。

（1）相序的一般判别

1）颜色标志。三相系统中的母线、开关引线及电缆头出线等的颜色标志见表 8-1。即 L_1、L_2、L_3 或 U、V、W，规定的颜色依次为黄色、绿色、红色，中性线为浅蓝色。

2）变压器引出线端子的相序标志如图 8-2a 所示。

3）电动机引入线端子的相序标志如图 8-2b 所示。

4）线路的相序规定如图 8-2c 所示。

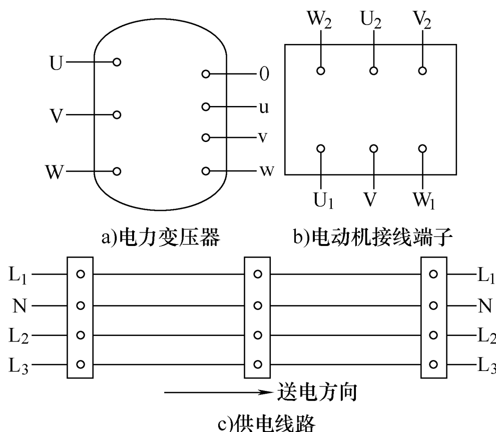


图 8-2　对供电设施三相相序的规定

（2）用仪表检测相序

上面所述相序的判别，在有些情况下是不准确的，因而还要使用仪表进行测定。一般检测相序常用的仪表就是相序表，如图 8-3 所示。

用相序表检查相序的方法是：

1）将电缆连接的接线夹接入被测三相电路，然后按下按钮，观察指示灯。如果三盏灯全亮，则说明三相电源完好；如果三盏灯中任意一只不亮，则对应的相线已接错。

2）通过观察孔观察铝盘转向。如果铝盘按箭头所示方向顺时针转动，则三相电源相序与接线夹所示相序相同，为顺相序。反之，则为逆相序。



图 8-3　相序表

2．电压不平衡故障点诊断

三相电压不平衡是三相电源故障的主要方面。电压不平衡故障的主要表现形式有电源变压器高压侧一相断电、低压侧一相或两相断电、三相电压不等。

查找三相电压不平衡故障可采用测电笔、万用表等进行测量。

（1）用测电笔诊断

采用测电笔查找电源断一相电比较有效。如图 8-4 所示，分别用测电笔测试 L_1、L_2、L_3 三相，无指示者为断电相。但这种测试方法，必须将负载切除，如图 8-4b 所示。由于负载未切除，L_1、L_2 相电位通过负载反馈到 L_3 相，因而在 L_3 相测电笔仍然发亮。因此，不断开负载，容易造成错误判断。

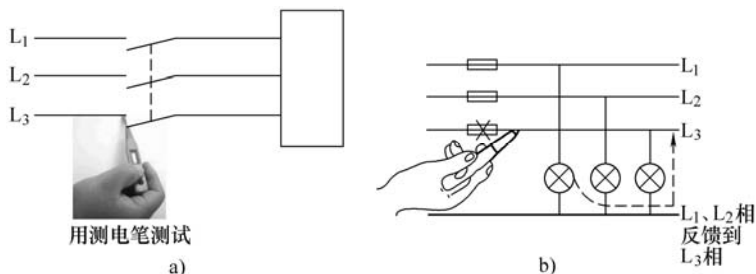


图 8-4　用测电笔检测断相电



对于一般的三相电压不平衡故障，用测电笔测试是不准的，但当电压严重不平衡时，从测电笔亮暗程度可大致区别各相电压的高低。

（2）用万用表诊断

用万用表电压档可准确地测试三相电压不平衡程度。测量的方法是，断开负载，首先将万用表调至交流（AC）“500V”位置，按图 8-4 所示分别测量$U_{L_1L_2}$、$U_{L_2L_3}$、$U_{L_3L_1}$，这三个电压的差别可按下式计算：

$$\Delta u\% = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{av}} \times 100\%$$

式中　U_{max}——最大线电压值；

U_{min}——最小线电压值；

U_{av}——平均电压值，$U_{av} = \frac{U_{L_1L_2} + U_{L_2L_3} + U_{L_3L_1}}{3}$。

当 $\Delta u\% \geqslant 15\%$ 时，则可认为三相电源电压出现了三相电压不平衡故障。

8.3　常用低压电气设备的故障检修

8.3.1　熔断器的故障检修

熔断器是根据电流超过规定值一定时间后，以其自身产生的热量使熔体熔化，从而使电路断开的一种电流保护器。熔断器主要由熔体和熔管两个部分及外加填料等组成（见图 8-5）。使用时，将熔断器串联于被保护电路中。熔断器广泛应用于低压配电系统和控制系统及用电设备中，作为短路和过电流保护，是应用最普遍的保护器件之一。

熔断器的故障主要表现为非正常熔断，导致电路断电。对于熔断器非正常熔断故障，可以从以下几个方面分析。

1．检查熔丝选择是否合理

大多数电气设备都具有一定的过载能力，是允许在一定条件下短时过载运行的，这时熔断器就不能熔断，而当负载超过允许值时，就又要求熔断器马上熔断，起到保护作用。另外还有一些设备起动电流很大，但起动时间很短，所以要求熔断器在设备起动时不熔断，在短路电流作用下或超过允许值时，能可靠熔断，起到保护作用。



图 8-5　常用熔断器

当熔断器非正常熔断后，可参考如下要求检查熔断器的容量是否合理。

（1）照明电路

熔断器额定电流≥被保护电路上所有照明电器工作电流之和。

（2）电动机

1）单台直接起动电动机：熔断器额定电流＝(1.5～2.5)×电动机额定电流。

2）多台直接起动电动机：总保护熔断器额定电流＝(1.5～2.5)×各台电动机电流之和。

3）减压起动电动机：熔断器额定电流＝(1.5～2)×电动机额定电流。

4）绕线转子电动机：熔断器额定电流＝(1.2～1.5)×电动机额定电流。

（3）配电变压器低压侧

熔断器额定电流＝(1.0～1.5)×变压器低压侧额定电流。

（4）并联电容器组

熔断器额定电流＝(1.3～1.8)×电容器组额定电流。

（5）电焊机

熔断器额定电流＝(1.5～2.5)×负荷电流。

（6）电子整流器件

熔断器额定电流≥1.57×整流器件额定电流。



2．检查熔丝安装是否正确。

1）熔丝端头绕线应正确，如果重叠或绕反，将使熔丝与熔断器端子接触不良或接头发热，使熔丝非正常熔断。

2）熔丝的安装不能拉得太紧，导致熔丝截面积减小；或者熔丝过松，导致熔丝过于弯曲，使熔丝的发热量增加。

3）固定熔丝的螺钉必须加平垫片，有的还需加弹簧垫片，否则也容易造成熔丝非正常熔断。

4）一根熔丝容量不够，需要多根熔丝时，一般不能将其绞扭成一股使用，因为这样会降低熔丝的总容量，也会造成非正常熔断。多根熔丝的安装可参考图8-6所示的方法。

5）装有石英砂的熔断器，更换熔丝时，需更换全部石英砂。新的石英砂必须干燥，纯度不应低于95%。否则，也将因熔断器灭弧能力降低而使熔丝非正常熔断。

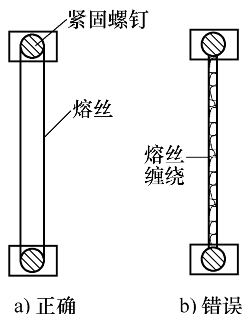


图8-6　多根熔丝的安装

8.3.2　开关设备的故障检修

1．负荷开关

负荷开关一般分为开启式负荷开关（见图8-7）和封闭式负荷开关（见图8-8）两种。

负荷开关的常见故障维修。

（1）合闸后一相或两相没电，故障原因一般有：

1）触刀座弹性消失或开口过大，使触刀座与动触刀不能接触。

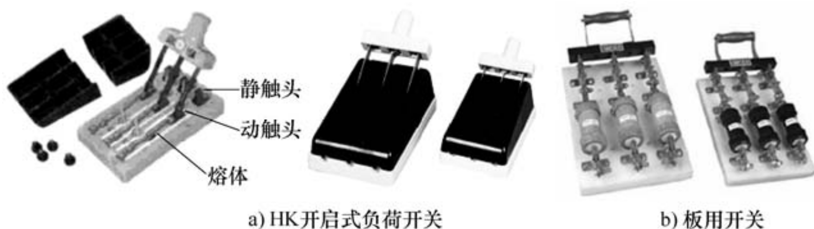


图8-7　开启式负荷开关



图 8-8　封闭式负荷开关

2）熔丝熔断或连接不良。

3）触刀座、动触刀氧化或有尘污。

4）电源进线或出线头氧化后接触不良。

（2）触刀座或动触刀过热或烧坏，故障原因有：

1）开关容量太小。

2）断、合闸时动作太慢造成电弧过大，烧坏触头。

3）触刀座表面烧毛。

4）动触刀与触刀座压力不足。

5）负载过大。

（3）开启式负荷开关的操作手柄带电，故障原因有：

1）外壳接地线接触不良。

2）电源进出线绝缘损坏碰壳。

2．组合开关

组合开关的外形如图 8-9 所示。



图 8-9　组合开关



组合开关的常见故障维修。

（1）手柄转动 90°后，内部触头未动，故障原因有：

1）手柄上的三角形或半圆口磨成圆形。

2）操作机构损坏。

3）绝缘杆由方形磨成圆形。

4）轴与绝缘杆装配不紧。

（2）手柄转动后，三副静触头和动触头不能同时接通或断开，故障原因有：

1）开关型号不对。

2）修理后出头位置转配不正确。

3）触头失去弹性或有尘污。

（3）开关接线柱相间短路的故障原因主要是由于长期不清扫，铁屑或油污附在接线柱间形成导电层，将胶木烧焦，因绝缘破坏而形成短路。

3．空气断路器

空气断路器按结构形式可分为塑壳式（见图 8-10）和万能式（见图 8-11）两大类。



图 8-10　塑壳式空气断路器



图 8-11　万能式空气断路器

空气断路器的常见故障维修。

（1）手动操作断路器不能闭合，故障原因一般有：

1）电源电压太低；

2）热脱扣的双金属片尚未冷却复原；

3）欠电压脱扣器无电压或线圈损坏；

4）储能弹簧变形，导致闭合力减小；

5）反作用弹簧力过大；

6）锁链和搭钩长期使用而磨损。

（2）欠电压脱扣器不能使断路器分断的原因一般是反力弹簧变小或储能弹簧断裂和弹簧力变小。

（3）欠电压脱扣器噪声大的原因一般是反作用弹簧力太大、铁心工作面有油污或短路环断裂。

（4）电动机起动时断路器立即分断的原因一般是过电流脱扣器瞬时整定值太小，脱扣器中如半导体器件、橡皮膜等损坏或脱扣器反力弹簧断裂落下。

（5）断路器闭合后经一定时间自行分断的原因一般是过电流脱扣器长延时整定值不符或热元件老化。

（6）断路器温升过高的原因一般是触头压力过小、触头表面过分磨损或接触不良，或两个导电零件连接螺钉松动。



下午（13:00 ~ 17:30）

8.3.3　交流接触器的故障检修

交流接触器（见图 8-12）是利用电磁结构来代替手动操作的一种常用开关。在自动控制电路中，用它来接通或断开正常工作状态下的主电路和控制电路。它的基本作用和刀开关类似。由于交流接触器具有操作安全、控制容量大，而且能进行远距离控制等优点，所以在低压电网的控制系统中得到了广泛的应用。



图 8-12　交流接触器



交流接触器的常见故障及维修方法如下。

（1）通电后不能合闸

1）检查线圈供电电路是否有断路，把断开点重新接好。

2）检查起动按钮触头是否接触不良。

3）检查线圈额定电压是否比线圈电压高，应更换额定电压合适的线圈。

4）检查触头与灭弧室壁之间是否卡住，或其他可动零部件与其运行导轨或导槽之间是否卡住。

5）检查转轴是否生锈或歪斜，拆下来清洗除锈或更换已磨损零部件，上润滑油。

6）检查控制电路电源电压是否过低，调整电源电压。

7）检查释放弹簧压力是否过大，应调整。

8）检查触头行程是否过大，应调整。

（2）运行中噪声过大或发生振动

1）检查线圈电压是否不足，应调整线圈电压。

2）检查铁心极面积是否有污垢、生锈、因磨损过度而不平，应清理极面，必要时应整修。

3）检查短路环是否断裂，应更换新短路环。

4）检查动、静铁心夹紧螺钉是否松动，应将螺钉拧紧。

5）检查可动部分是否配合不当，查明故障后进行调整。

6）检查反作用力弹簧是否过大。

（3）松开起动按钮接触器立即释放

1）检查接触器辅助触头是否接触不良，应清理辅助触头或更换新触头。

2）检查控制电路中触头是否接触不良，查明接触不良的触头加以更换或清理。

3）检查自锁触头的接线是否不对。

（4）接触器动作过于缓慢

1）检查动、静铁心间的间隙是否过大，调整机械部分，减小间隙。

2）检查安装位置是否不妥当，按产品说明书或技术条件规定重新更换。

3）检查线圈电压是否不足，调整线圈电压。

4）检查反作用力弹簧是否过大。

（5）断电后接触器不能释放

1）检查反作用力弹簧是否过小，应换上合适的弹簧。

2）检查剩磁是否过大，对于直流接触器，应更换或加厚非磁性垫片，对于交流磁系统，应将剩磁间隙处极面锉去一部分或更换磁系统。

3）检查新接触器铁心表面所涂凡士林是否没擦净。

4）检查可动部分是否被卡住。

5）检查接触器的安装位置是否不妥当。

6）检查触头是否熔焊在一起，撬开已熔焊在一起的触头或更换新触头。

7）检查控制电路接线是否有错，应重新查对电路。

（6）接触器的线圈有损坏或烧毁或引出线断裂

1）是否因空气潮湿或含腐蚀性气体，导致线圈绝缘损坏。

2）检查线圈内部是否断线，更换新线圈。

3）检查接触器是否因碰撞或振动导致机械损伤。

4）检查线圈额定电压比控制电路是否低。

5）检查线圈的通电持续率是否与实际情况不符。

6）检查线圈是否超过规定电压运行。

7）检查接触器是否欠电压运行，衔铁是否不能吸合。

8）检查交流线圈的操作频率是否过高。

9）检查双线圈结构是否因自锁触头焊住，以致起动绕组长期通电。

10）检查接触器周围环境温度是否过高。

11）检查接触器线圈匝间是否短路。

12）检查接触器线圈是否因机械损伤或附有导电尘埃而发生局部短路。

13）检查接触器接头焊接是否不良，以致因接触电阻过大而烧毁。

14）检查接触器线圈电流是否过大，应调整。

（7）检查接触器触头是否严重发热

1）检查负荷电流是否过大。

2）检查触头是否生锈严重，或积尘过多，或铜触头已经严重氧化。

3）检查接触器触头行程是否过小，能调整就调整，不能调整就更换。

4）检查接触压力是否不足。

5）检查接线是否松动。

（8）接触器主触头熔焊

1）闭合过程中振动是否过于剧烈，是否是由于供电电压过高造成的。

2）接触压力是否不足。

3）触头分断能力是否不足。

4）触头表面是否有金属颗粒凸起或有异物。

8.3.4　继电器的故障检修

继电器是一种根据输入信号（比如电流、电压、时间、速度和温度等）使被控制的输出电路接通或断开的电器，如图 8-13 所示。继电器一般不是用来直接控制主电路的，因此继电器的触头断流容量较小，所以不需要灭弧装置，但对动作的准确性却要求较高。由于继电器具有动作快、工作稳定、使用寿命长、体积小等优点，广泛应用于电力保护、自动化、遥控、测量和通信等装置中。



a) 交直流继电器　b) 中间继电器

c) 热继电器　d) 时间继电器

图 8-13　几种常用的继电器

1．热继电器的常见故障检修

热继电器的常见故障检修见表 8-3。

表 8-3　热继电器的常见故障检修

故障现象	产生原因	修理方法
热继电器误动作或动作太快	1．整定电流偏小 2．操作频率过高 3．连接导线太细 4．使用场所有强烈冲击振动 5．电动机起动时间太长	1．调大整定电流 2. 调换热继电器或限定操作频率 3．选用标准导线 4．选用防冲击振动的热继电器 5．选用合适的热继电器
热继电器不动作	1．整定电流偏大 2．热元件烧断或脱焊 3．导板脱出 4．触点接触不良或触点失灵不能打开 5．动作机构卡住 6．双金属片产生永久变形	1．调小整定电流 2．更换热元件或热继电器 3. 重新放置导板，并试验动作是否灵活 4．应清除触点表面脏物 5．进行调接 6．更换新双金属片
热元件烧断	1．负载侧短路或电流过大 2．反复短时工作，操作频率过高	1．排除故障，调换热继电器 2. 限定操作频率或调换合适热继电器
主电路不通	1．热元件烧毁 2．接线螺钉未压紧	1．更换热元件或热继电器 2．旋紧接线螺钉
控制电路不通	1．热继电器常闭触点接触不良或弹性消失 2. 手动复位的热继电器动作后，未手动复位	1．检修常闭触点 2．手动复位

2．时间继电器的常见故障检修

时间继电器的常见故障检修见表 8-4。

表 8-4　时间继电器的常见故障检修

故障现象	产生原因	修理方法
延时触点不动作	1．电磁线圈损坏 2．电源电压低于线圈额定电压很多 3．电动式时间继电器的同步电动机线圈断机	1．更换线圈 2．更换线圈或调高电源电压 3．调换同步电动机



（续）

故障现象	产生原因	修理方法
延时触点不动作	4．电动式时间继电器的棘爪无弹性，不能刹住棘齿 5．电动式时间继电器游丝断裂	4．调换棘爪 5．调换游丝
延时时间缩短	1．空气阻尼式时间继电器的气室装配不严，漏气 2．空气阻尼式时间继电器的气室内橡皮薄膜损坏	1．修理或调换气室 2．调换橡皮薄膜
延时时间变长	1．空气阻尼式时间继电器的气室内有灰尘，使气道阻塞 2．电动式时间继电器的传动机构缺润滑油	1．清除气室内灰尘，使气道畅通 2．加入适量的润滑油

8.4 常用电动工器具的故障检修

8.4.1 手电钻的常见故障检修

手电钻是最常用的电动工具之一，如图 8-14 所示，一般都是单相供电的，也有用直流电池供电的，其常见故障检修方法见表 8-5。



图 8-14 手电钻

表 8-5　手电钻的常见故障检修

故障现象	故障原因	排除方法
电钻不能起动	1．电源线断路 2．开关损坏 3．电刷或换向器不接触 4．定子绕组断路 5．转子绕组严重断路 6．齿轮损坏	1．用万用表或校验灯检查，维修断路的电源线 2．修理或调换开关 3．调整电刷压力，增大接触面 4．维修定子绕组，若在端部，可焊接后继续使用 5．重绕绕组 6．修理或调换齿轮
电钻转速慢	1．转子绕组断路或短路 2．定子绕组接地或短路 3．轴承磨损或减速齿轮损坏	1．电钻转速慢、力矩也小，换向器与电刷产生很大火花，火花呈红色。停机后： （1）用短路侦察器检查，如绕组短路，重绕绕组 （2）用万用表检查换向器与绕组连接处，如发现少量断路或脱焊，应连接重焊 2．用绝缘电阻表、校验灯检查定子绕组对地绝缘或用电压降法检查各个绕组。如发现短路绕组，须加以修复或重绕 3．调换轴承或齿轮
换向器与电刷间火花较大	1．定、转子绕组短路或断路 2．电刷和换向器接触不良 3．电刷规格不符	1．参考“电钻转速慢”的故障排除方法 2．增加电刷压力；若电刷太短，应更换电刷或改善接触面 3．更换电刷
换向器发热	1．电刷压力过大 2．电刷规格不符	1．调整到适当压力 2．更换电刷

8.4.2 交流电焊机的常见故障检修

交流电焊机的种类很多，在工矿企业的设备安装及维修工作中都有广泛的应用，其常见故障检修方法见表 8-6。

表 8-6 交流电焊机的常见故障检修

故障现象	故障原因	排除方法
焊机不起弧	1．电源没有电压 2．焊机接线错误 3．焊机绕组有短路或断路 4．电源电压过低 5. 电源线截面积太小或焊接电缆截面积太小	1．检查电源电压、刀开关和熔断器的接通情况 2．检查一、二次接线是否正确 3．检查绕组情况 4．调整电源电压 5．选用截面积足够的电线（见表 7-4）
焊机绕组过热	1．焊机过载 2．焊机绕组短路	1．按规定的暂载率下的焊接电流值使用 2．重绕绕组，更换绝缘
焊机铁心过热	1．电源电压超过额定电压 2．铁心硅钢片短路 3．铁心夹紧螺杆及夹件的绝缘损坏 4．重绕一次绕组后，绕组匝数不足	1．用电压表检查电源电压值，并与焊机铭牌上的规定值相对照 2．清洗硅钢片，并重刷绝缘漆 3．更换绝缘材料 4．检查绕组匝数，并验算各项电气技术数据
熔丝经常熔断	1．电源线有短路或接地 2．一次或二次绕组短路	1．检查电源线的情况 2．检查绕组情况，更换绝缘，重绕绕组
焊机外壳带电	1．绕组接地 2．电源引线或焊接电缆碰外壳	1．用绝缘电阻表检查各绕组绝缘电阻 2．检查电源引线和焊接电缆与接线端子板的连接情况

（续）

故 障 现 象	故 障 原 因	排 除 方 法
焊机振动及响声过大	1. 动铁心上的螺杆和拉紧弹簧松动或脱落 2. 传动动铁心或动绕组的机构有故障 3．绕组短路	1．加固动铁心及拉紧弹簧 2．检修传动机构，如手柄、螺杆、齿轮等 3．更换绝缘，重绕绕组
焊接电流不能调节	1. 传动动铁心或动绕组的机构有故障 2. 重绕电抗器绕组后，匝数不足，焊接电流不能调节得较小	1．检修传动机构 2．适当增加电抗器绕组匝数
调节手柄不能动	1. 调节机构上油垢太多或已锈住 2．移动路线上有障碍 3．调节机构已磨损	1．清洗除锈 2．清除障碍物 3．检查更换磨损的零件
焊机绕组绝缘太低	1．绕组受潮 2．绕组长期过热，绝缘老化	1. 在 100～110℃的烘干炉中烘干 2．更换绝缘，重绕绕组

8.4.3　单相电动扳手和电动螺钉旋具的常见故障检修

单相电动扳手（见图 8-15）和电动螺钉旋具（见图 8-16）的基本结构与电钻类似，但是增加了冲击、过扭离合机构和电动机正反转控制装置。因为单相电动扳手和电动螺钉旋具的工作头在紧固螺丝或螺母到最后冲击旋紧瞬间，要求立即反转脱离传动机构，以免扭损加工件及操作者，这就是与电钻结构不同的地方，也是最容易产生故障的地方。



图 8-15　单相电动扳手





图 8-16 电动螺钉旋具

单相电动扳手和电动螺钉旋具在使用中一定要注意：

1）严格遵守在暂载率 25%以下工作，暂载率过高会损坏电动机，若需要高暂载率，则应更换大规格扳手。

2）若进行拆卸螺栓，必须在电源切断后，才能拨动正反转开关。

单相电动扳手和电动螺钉旋具的常见故障检修见表 8-7。

表 8-7 单相电动扳手和电动螺钉旋具的常见故障检修

故障现象	故障原因	处理方法
接通电源，电动机不转	1. 电源断路 2. 开关损坏或接触不良 3. 电刷与刷盒配合过紧卡死 4. 电刷架松动，偏离中心线 5. 换向片有污垢，比如导电粉末 6. 定子、电刷绕组有短路、断路或受潮 7. 轴承严重磨损或配合过紧 8. 电枢卡死或电枢扫膛	1. 检修电源电路并维修 2. 检修或更换开关 3. 修磨电刷，调整弹簧压力 4. 调整紧固电刷架 5. 清洗换向片间的杂物 6. 检修或重绕绕组，受潮要烘干处理 7. 校正配合或更换轴承 8. 检修卡死、扫膛故障
工作头起动即停转	1. 主动轴人字槽有毛刺或杂物将冲击块卡死 2. 滚珠螺旋槽冲击机构的滚珠脱落 3. 滚珠弹簧弹性失效	1. 冲击块拆下清除毛刺或杂物，再用砂布打磨清除残屑 2. 配装滚珠 3. 更换弹簧

（续）

故 障 现 象	故 障 原 因	处 理 方 法
工作头扭矩不足	1．从动冲击块磨损打滑 2．工作弹簧张力降低	1．按易损零件图加工更换 2．更换弹簧
工作头剧烈振动	1．推力轴承滚珠碎损、脱落 2．主轴小头断裂	1．更换轴承 2．按易损零件图加工更换
工作头只能单转向	1．倒顺开关接触不良或损坏 2．倒顺开关接线松动或脱焊	1．检修或更换开关 2．重新焊接
工作头无规律断续运转	1．电源开关接触不良 2．电动机电刷接触不良或配合过紧 3．倒顺开关接触不良	1．检修或更换开关 2．修磨电刷或改善配合 3．检修或更换开关

今天问答题



1．怎样正确推理分析电气故障的位置?
2．四芯电缆的相线一般用哪三种颜色表示?
3．电路故障一般分为哪几类?
4．怎样检修短路故障?
5．怎样正确安装熔丝?
6．某三相负荷开关合闸后一相没电，怎样检修该负荷开关?
7．某空气断路器不能闭合，应该怎样检修?
8．某交流接触器断电后，触头不能释放，应该怎样检修?
9．某热继电器出现误动作，应该怎样检修?
10．某手电钻转速慢，应该怎样检修?
11．某电焊机不能起弧，应该怎样检修?
12．某电动螺钉旋具扭矩不足，应该怎样检修?

第 9 天

学习电气安全知识



上午（8:00 ~ 11:30）

9.1 背诵保证电工安全的措施

9.1.1 保证电工安全的组织措施

在低压电气设备上工作，保证电工安全的组织措施如下：

1）工作票制度；

2）工作许可制度；

3）工作监护制度和现场看守制度；

4）工作间断和转移制度；

5）工作终结、验收和恢复送电制度。

1．工作票制度

（1）在低压电气设备或线路上工作，应按下列方式进行：

1）填写低压第一种工作票（停电作业）；

2）填写低压第二种工作票（不停电作业）；

3）口头指令。

（2）填写低压第一种工作票的工作：凡是低压停电工作均应使用低压第一种工作票。

（3）填写低压第二种工作票的工作：凡是低压间接带电作业，均应使用低压第二种工作票。

（4）不需停电进行作业，例如，刷写杆号或用电标语、悬挂警告牌、修剪树枝、检查杆根或为杆根培土等工作，可按口头指令执行。

（5）工作票由工作负责人填写，工作票签发人签发。工作许可人发出

许可开始工作的命令后，工作负责人负责带领全体工作人员完成工作任务。

工作票签发人由供电所熟悉技术和现场设备的人员，或电力用户有经验的人员担任。工作票签发人应经县级供电企业考核批准。

工作负责人由供电营业所人员或电力用户电工担任。

工作许可人必须由该供电所或电力用户电气运行人员担任。

（6）工作负责人和工作许可人不得签发工作票。工作票签发人不得兼任该项工作的工作负责人和工作许可人。

工作负责人和工作许可人，应由两人分别担任。

工作负责人不宜进行检修、试验工作，但在确保安全的情况下，可以参加检修、试验工作。

工作许可人在该班组工作人员不足的情况下，可作为班组成员参加该班组工作，但不能担任工作负责人。

（7）工作票中所列人员的安全责任：

1）工作票签发人：①工作项目是否必要；②工作是否安全；③工作票上所填安全措施是否正确完备；④所派工作负责人和全体工作人员是否适当和充足。

2）工作负责人：①正确安全地组织作业；②结合实际进行安全思想教育；③检查工作许可人所做的现场安全措施是否与工作票所列的措施相符；④工作前对全体工作人员交代工作任务和安全措施；⑤督促工作人员遵守规程；⑥班组成员实施全面监护。

3）工作许可人：①审查工作票所列安全措施是否正确完备，是否符合现场实际；②正确完成工作票所列的安全措施；③工作前向工作负责人交代所做的安全措施；④正确发出许可开始工作的命令。

4）班组成员：认真执行规程和现场安全措施，互相关心施工安全，并监督规程和现场安全措施的实施。

（8）对大型或较复杂的工作，工作负责人填写工作票前应到现场勘查，根据实际情况制定安全、技术及组织措施。

（9）工作票要用钢笔或圆珠笔填写，一式两份。填写应正确清楚，不得任意涂改；如有个别错字、漏字需要修改时，字迹应清楚；必要时可附图说明。

（10）工作票签发人接到工作负责人已填好的工作票，应认真审查后

签发；对复杂工作或对安全措施有疑问时，应及时到现场进行核查，并在开工前一天把工作票交给工作负责人。

（11）工作负责人接到工作许可命令后，应向全体工作人员交代现场安全措施、带电部位和其他注意事项，并询问是否有疑问，工作班全体成员确认无疑问后，工作班组成员必须在签名栏签名。

（12）一个工作负责人只能发给一张工作票。工作票上所列的地点，以一个电气连接部分为限，如同一地点同时停送电，则允许在几个电气连接部分共用一张工作票。

（13）工作期间，一份工作票应始终保留在工作负责人手中，另一份由工作许可人保存。工作中，不允许增加工作票内没有填写的工作内容。

（14）紧急事故处理可不填写工作票，但应履行许可手续，做好安全措施，执行监护制度。

（15）已执行的工作票，由供电所保存，保存期为 3 个月。

（16）口头指令应记载在值班记录中，主要内容为工作任务、人员、时间及注意事项等。

（17）工作票制度的其他要求参照 DL 408—1991 标准执行。

2．工作许可制度

（1）工作负责人未接到工作许可人许可工作的命令前严禁工作。

（2）工作许可人完成工作票所列安全措施后，应立即向工作负责人逐项交代已完成的安全措施。工作许可人还应以手指背触试，以证明要检修的设备确已无电。对临近工作地点的带电设备部位，应特别交代清楚。

当所有安全措施和注意事项交代、核对完毕后，工作许可人和工作负责人应分别在工作票上签字，写明工作开始日期、时间，此时，工作许可人即可发出许可工作的命令。

（3）每天开工与收工，均应履行工作票中“开工和收工许可”手续。

（4）严禁约时停、送电。

3．工作监护制度和现场看守制度

（1）工作监护人由工作负责人担任，当施工现场用一张工作票分组到不同的地点工作时，各小组监护人可由工作负责人指定。

（2）工作期间，工作监护人必须始终在工作现场，对工作人员的工作认真监护，及时纠正违反安全的行为。

（3）工作负责人在工作期间不宜更换，工作负责人如需临时离开现

场，则应指定临时工作负责人，并通知工作许可人和全体成员。工作负责人如需长期离开现场，则应办理工作负责人更换手续，更换工作负责人必须经工作票签发人批准，并设法通知全体工作人员和工作许可人，履行工作票交接手续，同时在工作票备注栏内注明。

（4）为确保施工安全，工作负责人可指派一人或数人为专责监护人、看守人，在指定地点负责监护、看守任务。监护、看守人员要坚守工作岗位，不得擅离职守，只有得到工作负责人下达“已完成监护、看守任务”命令时，方可离开岗位。

（5）安全措施的设置与设备的停送电操作应由两人进行，其中一人为监护人。

4．工作间断和转移制度

（1）在工作中如遇雷、雨、大风或其他情况并威胁工作人员的安全时，工作负责人可下令临时停止工作。

（2）工作间断时，工作地点的全部安全措施仍应保留不变。工作人员离开工作地点时，要检查安全措施，必要时应派专人看守。

（3）在工作间断时间内，任何人不得私自进入现场进行工作或碰触任何物件。

（4）恢复工作前，应重新检查各项安全措施是否正确完整，然后由工作负责人再次向全体工作人员说明，方可进行工作。

（5）每天工作开始与结束，均应在低压第一种工作票中履行许可与终结手续。每天工作结束后，工作负责人应将工作票交工作许可人。次日开工时，工作许可人与工作负责人履行完工手续后，再将工作票交还工作负责人。

5．工作终结、验收和恢复送电制度

（1）全部工作完毕后，工作人员应清扫、整理现场。在对所进行的工作实施竣工检查后，工作负责人方可命令所有工作人员撤离工作地点，向工作许可人报告全部工作结束。

（2）工作许可人接到工作结束的报告后，应会同工作负责人到现场检查验收任务完成情况，确无缺陷和遗留的物件后，在工作票上填明工作终结时间，双方签字，工作票即告终结。

（3）工作票终结后，工作许可人即可拆除所有安全措施，然后恢复送电。

9.1.2 保证电工安全的技术措施

在全部停电和部分停电的电气设备上工作时，必须完成下列技术措施：

1）停电（断开电源）；

2）验电；

3）挂接地线；

4）装设遮栏和悬挂标示牌。

1．停电

（1）工作地点需要停电的设备：①施工、检修与试验的设备；②工作人员在工作中，正常活动范围边沿与设备带电部位的安全距离小于0.7m；③在停电检修线路的工作中，如与另一带电线路交叉或接近，其安全距离小于1.0m（10kV及以下）时，则另一带电回路应停电；④工作人员周围临近带电导体且无可靠安全措施的设备；⑤两台配电变压器低压侧共用一个接地体时，其中一台配电变压器低压出线停电检修，另一台配电变压器也必须停电。

（2）工作地点需要停电的设备，必须把所有有关电源断开，每处必须有一个明显断开点。

（3）断开开关的操作电源，刀开关操作把手必须制动。

2．验电

（1）在停电设备的各个电源端或停电设备的进出线处，必须用合格的相应电压等级的专用验电笔进行验电。验电前应先在带电设备上进行试验，以验证验电笔是否完好，然后在线路、设备的U、V、W三相和中性线导体上，逐相验明确无电压。图9-1所示为高压验电笔外形，图9-2所示为低压验电笔外形。

（2）不得以设备分合位置标示牌的指示、母线电压表指示零位、电源指示灯泡熄灭、电动机不转动、电磁线圈无电磁响声及变压器无响声等，作为判断设备已停电的依据。



图9-1 高压验电笔



图 9-2　低压验电笔

（3）检修开关、刀开关或熔断器时，应在断口两侧验电，杆上电力线路验电时，应先验下层，后验上层；先验距人体较近的导线，后验距人体较远的导线。

3．挂接地线

（1）经验明停电设备两端确无电压后，应立即在检修设备的工作点（段）两端导体上挂接地线。为防止工作地段失去接地线保护，断开引线时，应在断开的引线两侧挂接地线。

（2）凡有可能送电到停电检修设备上的各个方面的线路（包括零线）都要挂接地线。同杆架设的多层电力线路挂接地线时，应先挂下层导线，后挂上层导线；先挂离人体较近的导线（设备），后挂离人体较远的导线（设备）。

（3）当运行线路对停电检修的线路或设备产生感应电压而又无法停电时，应在检修的线路或设备上加挂接地线。

（4）挂接地线时，必须先将地线的接地端接好，然后再在导线上挂接。拆除接地线的程序与此相反。接地线与接地极的连接要牢固可靠，不准用缠绕方式进行连接，禁止使用短路线或其他导线代替接地线。若设备处无接地网引出线时，可采用临时接地棒接地，接地棒在地面下的深度不得小于 0.6m。为了确保操作人员的人身安全，装、拆接地线时，应使用绝缘棒或戴绝缘手套，人体不得接触接地线或未接地的导体。

（5）严禁工作人员或其他人员移动已挂接好的接地线。如需移动时，必须经过工作许可人同意并在工作票上注明。

（6）接地线由一根接地段与三根或四根短路段组成。接地线必须采用多股软裸铜线，每根截面积不得小于 $16mm^2$。严禁使用其他导线作接地线，图 9-3 所示为接地线。





图 9-3　接地线

（7）由单电源供电的照明用户，在户内电气设备停电检修时，如果进户线刀开关或熔断器已断开，并将配电箱门锁住，可不挂接地线。

4．装设遮栏和悬挂标示牌

（1）在下列开关、刀开关的操作手柄上应悬挂“禁止合闸，有人工作”的标示牌：

1）一经合闸即可送电到工作地点的开关、刀开关；

2）已停用的设备，一经合闸即可启动并造成人身触电危险、设备损坏，或引起总剩余电流动作保护器动作的开关、刀开关；

3）一经合闸会使两个电源系统并列，或引起反送电的开关、刀开关。

（2）在以下地点应挂“止步，有电危险”的标示牌：

1）运行设备周围的固定遮栏上；

2）施工地段附近带电设备的遮栏上；

3）因电气施工禁止通过的过道遮栏上；

4）低压设备做耐压试验的周围遮栏上。

（3）在以下邻近带电线路设备的场所，应挂“禁止攀登，有电危险”的标示牌：

1）工作人员或其他人员可能误登的电杆或配电变压器的台架；

2）距离线路或变压器较近，有可能误攀登的建筑物。

（4）装设的临时木（竹）遮栏，距低压带电部分的距离应不小于 0.2m，户外安装的遮栏高度应不低于 1.5m，户内应不低于 1.2m。临时装设的遮栏应牢固、可靠。

（5）严禁工作人员和其他人员随意移动遮栏或取下标示牌。

图 9-4 所示为常用标示牌和遮栏。

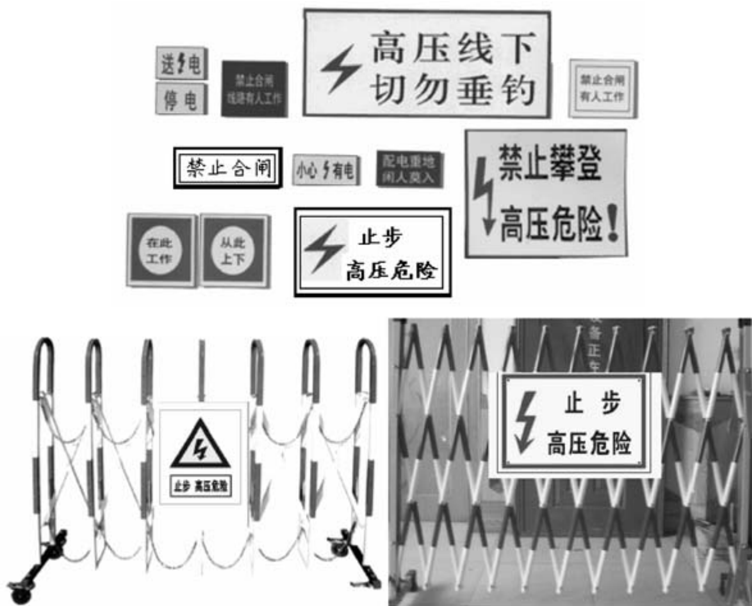


图 9-4　标示牌和遮栏

9.2　电气防火防爆措施

9.2.1　发生电气火灾或爆炸的原因

电气火灾和爆炸的原因，除了设备自身缺陷或安装不当等设计、制造和使用方面的原因外，在运行中，电流的热量和电火花或电弧等都是电气火灾和爆炸的直接原因。

1．电气设备过热

电气设备过热主要是电流的热效应造成。电流通过导体时，由于导体存在电阻，电流通过时就要消耗一定的能量转化为热能。这部分热能使导体温度升高，并加热其周围的其他材料。当温度超过电气设备及周围材料的允许温度时，达到起燃点就可能引发火灾或爆炸，电气设备的允许最

高温度见表9-1。

表 9-1 电气设备的允许最高温度

<table>
<tr><th colspan="2">类　别</th><th>正常运行允许的最高温度/℃</th></tr>
<tr><td colspan="2">（1）导线与塑料绝缘线</td><td>70</td></tr>
<tr><td colspan="2">（2）橡胶绝缘线</td><td>65</td></tr>
<tr><td colspan="2">（3）变压器上层油温</td><td>85</td></tr>
<tr><td colspan="2">（4）电力电容器外壳温度</td><td>65</td></tr>
<tr><td rowspan="3">（5）电机定子绕组对应于采用的绝缘等级及定子铁心温度</td><td>A级</td><td>100</td></tr>
<tr><td>E级</td><td>115</td></tr>
<tr><td>B级</td><td>110</td></tr>
</table>

造成电气设备过热的原因主要有：

1）短路：线路发生短路时，线路中电流将增加到正常工作电流的几十倍，使设备温度急剧上升，尤其是连接部分接触电阻大，如果温度达到可燃物的起燃点，就会引起火灾或爆炸。

引起线路短路的原因很多，例如电气设备载流部分的绝缘损坏。这种损坏可能是设备长期运行，绝缘自然老化；或者设备本身不合格，绝缘强度不符合要求；或者是绝缘受到外力损伤等引起短路事故。

还有因误操作造成弧光短路。另外由于小动物误入带电间隔造成短路，鸟禽跨越裸露的相线之间造成短路等，所以必须采取有效措施防止发生短路，发生短路后应以最快的速度切除故障部分，以保证线路安全。

2）过负荷：由于导线截面积和设备选择不合理，或运行中电流超过设备的额定值，都会引起发热，导致超过设备的长期运行温度。

3）接触不良：导线接头连接不牢靠、活动触头（开关、熔丝、接触器、插座、灯泡与灯座等）接触不良，导致接触电阻很大，电流通过时导致接头过热。

4）铁心过热：变压器、电动机等设备的铁心压得不紧，或铁心绝缘损坏，或长时间过电压，或运行中使铁心过饱和，或非线性负荷引起高次谐波造成铁心过热。

5）散热不良：设备的散热通风措施遭到破坏，设备运行中产生的热

不能有效地散掉，造成设备过热。

6）发热量大的一些电气设备安装或使用不当，也可能引起火灾。例如，电阻炉的温度一般可达 600℃以上，照明灯泡表面的温度也能达到很高的温度，见表 9-2，也应注意防范。

表 9-2　灯泡表面温度

灯泡功率/W	60	75	100	150	200	1000（碘钨灯）
灯泡表面温度/℃	137～180	130～143	148～163	146～180	155～206	800

2．电火花和电弧

在生产和生活中是经常见到的一种现象。例如，电气设备正常工作时或正常操纵时，会产生电火花或电弧；交流电动机电刷与集电环滑动接触处，在正常运行中会产生电火花；开关断开电路时，会产生很强的电弧；接触器断开电路时，也会产生电火花。电火花、电弧的温度一般很高，特别是电弧，温度可达 6000℃。这么高的温度一旦遇到可燃物便可能引起火灾甚至造成爆炸，成为最为危险的火源。

3．电气设备本身会发生燃烧和爆炸

例如，变压器、油断路器、电力电容器、电压互感器等充油设备会发生燃烧和爆炸。

4．违反安全操作规程

1）在带电设备、变压器、油断路器等附近使用喷灯。

2）在火灾与爆炸危险的场所使用明火。

3）在可能发生火灾的设备或场所用汽油擦拭设备等。

9.2.2　电气防火、防爆安全要求

1．合理选择电气设备

按危险场所的类别和等级选用电气设备，分两种情况：

1）对有爆炸性危险的场所选用电气设备时，要经过调查研究，从实际情况出发，根据爆炸危险场所的类别、等级和电火花形成的条件等，选用相应的电气设备。

2）对有火灾危险的场所选用电气设备时，应根据场所的等级、电气设备的种类和使用条件，选用相应的电气设备。



2．合理选用保护装置

合理选用保护装置是防火防爆的重要措施。一般情况下，在火灾和爆炸危险场所，除应有必要的接地接零装置外，还应有比较完善的短路、过载等保护装置。过电流保护装置的动作电流在不影响电气设备正常工作的情况下，其整定值应尽量小些。在 0 区、10 区爆炸危险场所内，单相线路和工作零线均应装设短路保护装置。

对突然停电可能引起火灾或爆炸的场所，应有两路电源供电，并装好自动切换的联锁装置。正常运行时产生火花或电弧的防爆型电气设备，其电气联锁装置必须可靠，也就是电源接通时壳盖不能打开，壳盖打开后电源则不能接通。

此外，对于正压型防爆电气设备，应装设必需的联锁装置或其他保护装置。对有条件的用电客户，还可以装设自动检测装置，如当场所内爆炸性混合物达到危险浓度时，能发出信号或报警，以便工作人员采取措施，消除危险。

3．保持合理的防火间距

选择合理的安装位置，保持必要的防火间距，也是防火防爆的一项重要措施。

（1）选择合理的安装位置

对于爆炸危险场所，应考虑把电气设备安装在爆炸危险场所以外或爆炸危险性较小的部位。这样能比较经济地满足防爆安全要求。当场所与爆炸危险场所相邻，且其间有隔墙隔开时，该场所的防爆等级就可以降低，具体划分方法见表 9-3。从该表中可以看出，只要与爆炸危险场所隔开，就可以选用较低等级的防爆电气设备，甚至可以选择一般的电气设备。

为了防止电火花或危险温度引起火灾，开关、插座、熔断器、电热器具、透明器、电焊设备和电动机等均应根据需要，尽量避开易燃物或易燃建筑构件。起重机滑触线下方，不应堆放易燃品。露天变、配电装置，不应设置在易于沉积可燃性粉尘或纤维的地方。10kV 及以下的变、配电所，不应设在火灾或爆炸危险场所的正上方或正下方，10kV 及以下的架空线路，严禁跨越火灾和爆炸危险场所等。

表 9-3　与爆炸危险场所相邻场所的防爆等级

爆炸危险场所等级	用有门的墙隔开的相邻场所的等级	
	相隔一道有门的墙	经过走廊或套间相隔两道有门的墙
0 区	划作 1 区	无爆炸和火灾危险
1 区	划作 2 区	
2 区	无爆炸和火灾危险	
10 区	划作 11 区	无爆炸危险
11 区	无爆炸危险	

注：1．隔墙应是非燃烧的实体，门应是难燃烧的，且有密闭措施和自动关闭装置（如弹簧等），隔墙上如有窗，应是难燃的、密闭的。

2．与 0 区、1 区、10 区场所相邻场所间，其两道隔墙上门框之间的净距离应不小于 2m。

3．与爆炸危险场所相邻的地下场所的等级划分，应根据具体情况考虑，如送、排风系统的配置，能使相邻场所的风压高于爆炸危险场所；或采取相应措施，使爆炸性混合物不能侵入相邻场所时，可按本表划分，否则不能降低相邻场所的等级。

根据以上原则，可以把某些电气设备（特别是正常运行时发生火花的设备）安装在爆炸危险场所之外或危险程度较低的场所。例如，把电动机安装在墙外，而采用隔墙机械传动（传动轴有填料密封），又如把照明灯具安装在危险场所外面，让光线通过玻璃投射入室内等。

（2）保持必要的防火间距

1）屋外变、配电装置与建筑物、堆场之间的防火间距应不小于表 9-4 的规定。

2）10kV 及以下的变、配电所与建筑物相毗邻时，隔墙应是非燃烧体的，隔墙面数应根据场所危险程度而定。这种变、配电所的门、窗应向外开启，并通向无火灾和无爆炸危险的场所。

3）10kV 及以下的架空线路，与火灾和爆炸危险场所接近时，其间的水平距离一般应不小于杆柱高度的 1.5 倍，以防止发生倒杆断线事故时，电线甩出，产生火花和电弧引起燃烧或爆炸。在特殊情况下，采取有效措施后，允许适当减小距离。

4）铅蓄电池室的入口最好有套间或门斗，避免一般房间与蓄电池室直接毗邻，外套间及蓄电池室的门都应向外开启。

表 9-4　屋外变、配电装置与建筑物、堆场的防火间距

建筑物、堆场名称	变压器总油量/t		
	<10	10～50	>50
民用建筑/m	15～25	20～30	25～35
丙、丁、戊类生产厂房和库房/m	12～20	15～25	20～30
甲、乙类生产厂房/m	25		
甲类库房/m	25～40		
稻草、麦秸、芦苇等易燃材料堆物/m	50		
易燃液体贮罐/m	25～50		
可燃液体贮罐/m	25～50		
液化石油气贮罐/m	40～90		
水槽式可燃气体贮罐/m	25～40		

注：1．防火间距应从距建筑物、堆场最近的变压器外壁算起，但屋外变、配电构件距堆物、贮罐和甲、乙类厂房、库房不宜小于 25m，距其他建筑物不宜小于 10m。

2．干式可燃气体贮罐的防火间距，应按本表增加 25%。

3．发电厂的主变压器，其油量可按单台考虑。

4．本表内屋外变、配电装置，是指电压为 35～330kV 的装置，且每台变压器容量在 5000kV·A 以上的屋外变、配电所，以及工业企业屋外总降压变电所的配电装置。

4．保持良好的通风

在爆炸危险场所，如有良好的通风装置，能降低爆炸性混合物的浓度，场所危险等级可以考虑降低。例如，对于气流良好的敞开式、局部敞开式建筑物和构筑物或露天区域或系气体或蒸气爆炸性混合物的场所，一般可降低一级考虑，但不应划为无爆炸危险的场所；如系粉尘或纤维爆炸性混合物的场所，一般可划为无爆炸危险的场所。又如，当装有经常运转的通风机，能保证场所有足够的换气次数，且当其中一台机组故障时，仍有必要的通风量，或能自动接入备用机组的爆炸危险场所，可降低一级考虑。

应当注意，爆炸危险场所内的事故排风用电动机的控制设备，应设在事故情况下便于操作的地方。

9.2.3　电气火灾的扑救

1．电气灭火注意事项

（1）充油电气设备灭火时的注意事项

1）外部着火时，允许用二氧化碳、“1211”、四氯化碳、干粉等灭火器灭火。使用四氯化碳灭火时，为了防止中毒，灭火人员应站在上风侧，室内灭火必须注意通风。当火势较大时，必须切断电源，用水枪灭火。

2）油箱破损、喷油燃烧、火势很大时，必须立即切断电源，同时打开放油阀，将油引入贮油池内，池内及地上的油火应用泡沫灭火器边排边灭，但不得使油流入电缆沟内。一旦流入电缆沟内必须立即堵塞沟口，并用泡沫灭火器将火熄灭。操作放油阀时，灭火器不得停止工作。

3）充油电气设备的灭火，必须有足够的灭火器材及灭火人员。

（2）电缆及电缆沟灭火时的注意事项

电缆着火时，必须先切断电源，灭火的同时应寻查着火的原因。灭火时，允许使用水枪喷雾、二氧化碳、“1211”、干粉、沙子等。

1）电缆沟（井、隧道）内电缆着火时，必须先把着火电缆周围的电缆电源切断，然后用手提式干粉灭火器、“1211”或二氧化碳灭火器、喷雾水枪、干沙、干燥黄土等灭火。电缆灭火时，灭火人员必须戴防毒面具、戴绝缘手套、穿绝缘靴。允许将井、隧道内的隔火门关闭，用窒息方法灭火。沟内电缆较少且距离很短时，可将两端井口堵住封死而窒息灭火。

2）电缆沟内火势较大，扑灭较困难时，先将电源切断，然后向沟内灌水，直到将着火点用水封住，火便自行熄灭。这时及时将水抽出，然后进行干燥处理。

3）电缆着火时在没有确认停电和放电前，严禁用手直接接触电缆外皮，更不准移动电缆。必要时，应戴绝缘手套、穿绝缘靴、用绝缘拉杆操作。手套、靴、拉杆的电压等级要与电缆对应。

4）室内电缆着火时，必须保持良好的通风，小心中毒。有通风机的建筑物，电气火灾发生后应自动起动通风机。

（3）旋转电机灭火时的注意事项

发电机或电动机等旋转电机着火时，为防止轴承变形，可令其慢慢转动，用喷雾水灭火，并使其均匀冷却，也可用二氧化碳、四氯化碳灭火，但不宜使用干粉、沙子、泥土灭火，以免损伤电气设备的绝缘。

2．常用灭火器的主要性能及使用方法

常用灭火器的主要性能见表 9-5。

表 9-5　灭火器的主要性能

种类 性能	二氧化碳灭火器	干粉灭火器	泡沫灭火器
药剂	瓶内装有压缩成液态的二氧化碳	钢筒内装有钾盐或钠盐干粉，并备有盛装压缩气体的小钢瓶	筒内装有碳酸氢钠、发沫剂和铝酸铝液体
用途	不导电 扑救电气设备、精密仪器、油类和酸类火灾，不能扑救钾、钠、镁、铝等物质形成的火灾	不导电 可扑救电气设备火灾，但不宜扑救旋转电机火灾，可扑救石油产品、油漆、有机溶剂、天然气和天然气设备火灾	扑救油类或其他易燃液体火灾，不能扑救忌水和带电物体火灾
效能	接近着火点，保持 3m 距离	8kg 喷射时间为 14～18s，射程为 4.5m；50kg 喷射时间为 50～55s，射程为 6～8m	10L 喷射时间为 60s，射程为 8m；65L 喷射时间为 170s，射程为 13.5m
使用方法	一手拿好喇叭筒对着火源，另一手打开开关即可	提起圆环，干粉即可喷出	倒过来稍加摇动或打开开关，药剂即喷出
保养和检查方法	保养： （1）置于取用方便的地方 （2）注意使用期限 （3）防止喷嘴堵塞 （4）冬季防冻，夏季防晒 检查： 每月检查一次，重量减少 1/10 时应充气	置于干燥通风处，防受潮、日晒，每月检查一次干粉是否受潮或结块小钢瓶内的气压压力，每半年检查一次，如重量减少 1/10 应换气	一年检查一次，泡沫发生倍数低于本身体积 4 倍时，应换药

（1）二氧化碳灭火器的使用

1）用右手提着灭火器的压把，迅速靠近起火现场。

2）拔掉灭火器的铅封，如图 9-5 所示。

3）站在距火焰 3m 左右的距离，左手拿着喇叭筒，右手用力压下压把，对着火焰根部喷射，并不断推进，直至把火喷灭，如图 9-6 所示。



图 9-5　拔掉灭火器的铅封

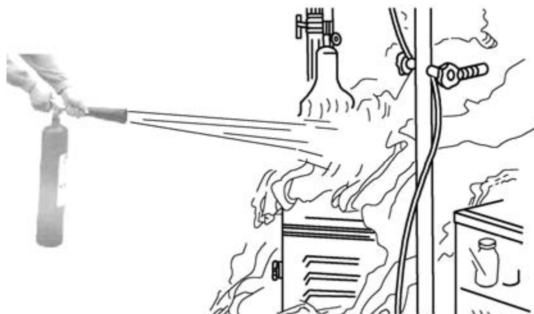


图 9-6　二氧化碳灭火器灭火

（2）干粉灭火器的使用

1）用右手提着灭火器的压把，迅速靠近起火现场。

2）拔掉灭火器的铅封，如图 9-5 所示。

3）左手握着喷管，右手提着压把，在距离火焰 2m 的地方，右手用力压下压把，左手拿着喷管左右摆动，喷射干粉覆盖整个燃烧区，如图 9-7 所示。

（3）泡沫灭火器的使用

1）用右手提着灭火器的压把，迅速靠近起火现场。

2）右手捂住喷嘴，左手执筒底边缘，把灭火器颠倒过来呈垂直状态，用力上下晃动几下，然后站在距离燃烧区大约 8m 的地方，放开喷嘴喷射，并不断前进，围着火焰喷射，直至将火扑灭，如图 9-8 所示。



图 9-7　干粉灭火器的使用



图 9-8　泡沫灭火器的使用



3）灭火后，把灭火器卧放在地上，喷嘴朝下。



下午（13:00 ~ 17:30）

9.3 漏电保护器的安装

漏电保护器（见图9-9）是防止人身触电伤亡事故以及漏电而引起电气火灾和电气设备损坏事故的保护电器。了解和掌握漏电保护器的原理、安装和使用的有关知识，是广大电工人员做好安全工作的一项重要内容。

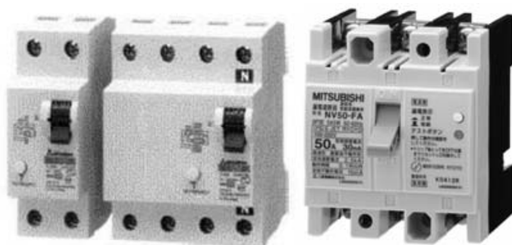


图9-9 漏电保护器

9.3.1 漏电保护器的种类

低压漏电保护器的种类很多，而且分类方法也不相同。常用的主要有以下几种分类方法：

1．按照检测信号和工作原理分类

主要有电流动作型、交流脉冲型和电压动作型。其中电压动作型已经趋于淘汰，交流脉冲型主要用于农村低压电网的总保护，应用最多的是电流动作型漏电保护器。

2．按照所采用的元件分类

可分为电磁式漏电保护器和电子式漏电保护器两种。

3．按照其结构形式分类

主要有漏电开关（漏电断路器）、漏电继电器（组合式漏电保护器）、漏电保护插座等。

其中，漏电开关是指漏电信号检测装置、脱扣装置、跳闸机构等装配

在一个绝缘外壳内的一种漏电保护电器，动作后可直接切断主回路电源。

漏电继电器本身并无跳闸机构，不能直接切断主电路电源，而是通过交流接触器或带有分励脱扣的低压断路器来切断电源。

4．按照漏电动作电流分类

1）高灵敏度型：动作电流在 30mA 及以下，主要用于防止各类人身触电事故，有 6mA、10mA、15mA、30mA 四个等级。

2）中灵敏度型：动作电流在 30mA 以上、1000mA 及以下，主要用于防止人身触电事故和漏电引起的火灾，有 50mA、75mA、100mA、200mA、300mA、500mA 及 1000mA 七个等级。

3）低灵敏度型：动作电流在 1000mA 以上，主要用于防止漏电引起的火灾和监视单相接地故障。

5．按其动作时间分类

1）瞬时型：即动作时间为快速型的漏电保护器，一般动作时间不超过 0.2s。

2）延时型：在漏电保护器的控制回路中增加了延时电路，使其动作时间达到一定的延时，一般规定一个延时级差为 0.2s。

3）反时限型：漏电保护器的动作时间随动作电流的增大而在一定范围内缩短。一般电子式漏电保护器都具有一定的反时限特性。

9.3.2　漏电保护器动作电流和动作时间的选择

漏电保护器能否起到应有的保护作用，关键是动作电流和动作时间的选择。

1．漏电动作电流的选择

漏电动作电流，是指生产厂家规定的、使漏电保护器动作的漏电电流。

漏电总保护在躲过低压电网正常漏电情况下，漏电动作电流应尽量选小，以兼顾人身和设备安全的要求。农村低压电网的不平衡漏电电流值，一般为 15～30mA，有的甚至超过 50mA。当不平衡漏电电流为 15mA 左右时，漏电动作电流整定在 30～60mA 比较合适；当不平衡漏电电流为 30mA 左右时，漏电动作电流可相应整定在 60～100mA。

总保护器的额定动作电流值，宜选用有可调档次的，以便在运行中随着电网对地漏电电流的变化，调整其动作电流整定值。漏电总保护器整定的最大值可参照表 9-6 确定。具体的调整数值，应按各地漏电保护器管

理制度的规定执行。

表 9-6　总保护器的最大额定动作电流　（单位：mA）

电 网 类 别	非阴雨季节	阴雨季节
漏电电流较小的电网	57	200
漏电电流较大的电网	100	300

漏电末级保护的漏电动作电流值，应小于上一级漏电保护的动作值，但不应大于以下相应情况的数值：家用电器、固定安装电器、移动式电器、便携式电器及临时用电设备为 300mA；手持式电动机具为 10mA；特别潮湿的场所为 6mA。

漏电中级保护器，其额定漏电动作电流应介于上、下级漏电动作电流值之间。具体数值可根据电力网的分布情况确定。

2．漏电动作时间的选择

漏电保护器的动作时间，对漏电保护器能否起到保护效果，起着关键的作用。国际电工委员会（IEC）规定：以 30mA · s 作为人身触电时的安全值。人身触电时，通过人体的电流是由客观条件决定的，所以只能采取措施使漏电保护器迅速动作，切断电源，才能使人减轻触电时的伤害。

低压电网实施分级保护时，上、下级保护漏电动作时间应协调配合，以免造成越级跳闸。总保护器及中级保护器选用延时型的，漏电末级保护器选用快速动作型的。总保护、中级保护及末级保护间每级相隔延时 0.2s。

9.3.3　漏电保护器的安装

1．漏电保护器的选择

1）漏电保护器必须选用符合国家标准的产品；产品应有生产许可证和产品的安全认证标志。我国电工产品的安全认证标志为长城标志。

2）根据保护的对象和保护要求，正确选择漏电保护器的极数、额定电流、漏电动作电流、漏电动作时间等。

2．漏电保护器的安装

（1）漏电保护器的安装要求

1）漏电保护器应安装在无腐蚀性气体、无爆炸性危险的场所，应注意防潮、防尘、防振动和防阳光直晒。

2）组合式漏电保护器主电路控制开关宜带分励脱扣的低压断路器，也可采用交流接触器。采用交流接触器时，100A 以上的应采用直流或无压运行。

3）组合式漏电保护器安装穿心式零序电流互感器时，其穿越的回路电线应并拢绞合后再穿过，且在两端保持不小于 100mm 的长度后才能分开，防止在正常情况下不平衡磁通引起误动作。

4）组合式漏电保护器外部连接的控制电路，应采用同心绝缘电线，其截面积不应小于 $1.5mm^2$。组合式漏电保护器的漏电继电器，宜安装在配电盘正面，便于维护操作的位置，一般距地面为 800～1500mm。

5）安装漏电保护器时，应按照厂家提供的说明书进行接线，避免因接线错误引起漏电保护器的误动作或烧毁漏电保护器。

（2）漏电保护器的接线示例

1）单相漏电保护器的接线。单相漏电保护器，一般安装在电源末端，安装时可与单相电能表、熔断器固定在一块板上，如图 9-10 所示。



图 9-10　单相漏电保护器的安装

2）三相漏电保护器的安装：主要用于以电动机为负载的三相线路中，一般安装在线路的末端，如图 9-11 所示。

3）漏电继电器与其他电器配合时的几种接线形式：漏电继电器因不能直接切断主电路电源，因此，必须与交流接触器或带分励脱扣器的低压断路器配合使用，其接线示例如图 9-12 和图 9-13 所示（图中仅为说明，具体接线还应参照产品说明书）。



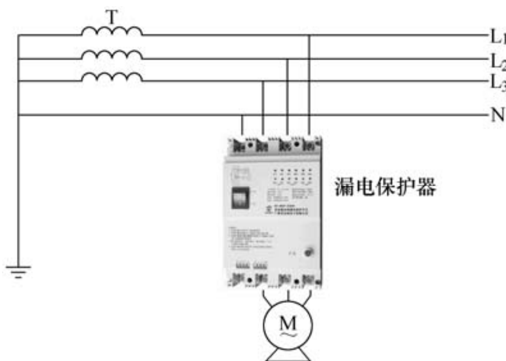


图 9-11　三相漏电保护器的接线

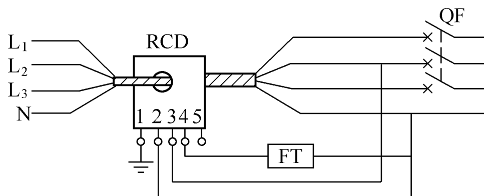


图 9-12　漏电继电器配低压断路器运行

RCD—漏电继电器　1—接地接线柱　2—零线接线柱　3—相线接线柱　4—常开接线柱　5—常闭接线柱　FT—分励脱扣器　QF—低压断路器

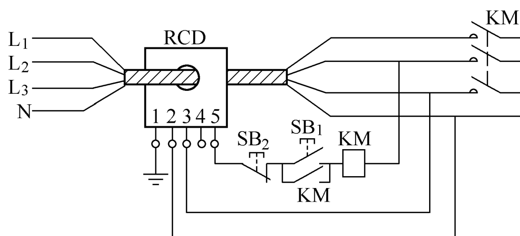


图 9-13　漏电继电器配交流接触器运行

RCD—漏电继电器　1—接地接线柱　2—零线接线柱　3—相线接线柱　4—常开接线柱　5—常闭接线柱　KM—交流接触器　SB_1—起动按钮　SB_2—停止按钮

（3）漏电保护器安装后的试验

漏电保护器安装后应进行如下检测，检测合格后，才能投入运行。

1）带负荷分合开关 3 次，不得误动作。

2）用试验按钮试验 3 次，应正确动作。

3）各相用试验电阻接地试验 3 次，应正确动作。

9.4　触电急救

9.4.1　人体触电后的表现

人体触电后的表现主要有以下几点：

（1）假死

所谓假死就是触电者失去知觉、面色苍白、瞳孔放大、脉搏和呼吸停止。假死可分为三种类型：心脏停止，尚能呼吸；呼吸停止，心跳尚存，但脉搏很微弱；心跳、呼吸均停止。

由于触电时心跳和呼吸是突然停止的，虽然中断了供血供氧，但人体的某些器官还存在微弱活动，有些组织的细胞新陈代谢还能进行，加之一般体内重要器官并未损伤，只要及时进行抢救，触电者极有被救活的可能。

（2）局部电灼伤

触电者神志清醒，电灼伤常位于电流进出人体的接触处，进口的伤口常为一个，出口处的伤口有时不止一个，电灼伤的面积较小，但较深，有时深达骨骼，大多为三度灼伤。灼伤处是焦黄色或褐黑色，伤面与正常皮肤有明显的界限。

（3）轻微伤害

触电者神志清醒，只是有些心慌、四肢发麻、全身无力、一度昏迷，但未失去知觉，出冷汗或恶心呕吐等。

9.4.2　使触电者脱离电源的方法

发现有人触电时，不要惊慌失措，应赶快使触电者脱离电源，这样才能进一步施行急救的其他措施。应当注意，在脱离电源过程中，救护人员既要救人，也要注意保护自己。触电者未脱离电源前，救护人员不准直接用手触及伤员。

1．低压触电时脱离电源的方法

1）拉闸停电：如果刀开关或插头就在附近，应迅速拉下开关或拔掉插头，以切断电源，如图 9-14 所示。但应注意，如果触电者接触灯线触

电，不能认为拉开拉线开关就算停电了，因为拉线开关有可能是错接在零线上的，虽然拉开了拉线开关，但导线仍然有电，所以，应在顺手拉开拉线开关后，再迅速拉开附近的刀开关或熔断器，才比较安全。

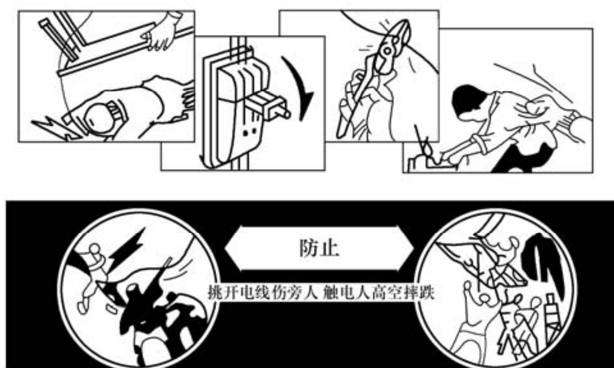


图 9-14　迅速断开电源的方法

2）如果开关或插头距触电的距离很远，不能很快断开电源，可用带绝缘手柄的电工钳、有干燥木柄的斧头、刀、锄头等利器把电线切断，一定要注意切断的电线不能再伤到旁人。

3）当导线断落在触电人身上或压在身下时，可用干燥的木棒、竹竿、木板、木凳等物（以免救护人自己触电），迅速地将电线挑开；但千万注意，不能用铁棒等金属物或潮湿的东西去挑电线，也不可将电线挑落在其他人身上。

4）如果抢救时，身边什么工具也没有，这时若触电者的衣服是干燥的，而且也没有紧缠在身上，抢救人可用一只手（不可用两只手）厚厚地缠上绝缘的物品，如干燥的毛衣、围巾等，拉触电人的衣服，使之脱离电源，注意不要触及触电人的皮肤，也不可拉触电人的脚。

进行触电急救时，还必须防护自己和在场人员误触电及加重触电人的外伤。如果有人在高处触电，必须采取防护措施，防止触电人从高处摔下来。

2．高压触电时脱离电源的方法

1）若在高压电气设备或高压线路上触电，为使触电者脱离电源，应

尽量通知有关部门停电，或用适合该电压等级的绝缘工具（如戴绝缘手套、穿绝缘靴并用绝缘棒）解脱触电者；救护人员在抢救过程中，应注意自身与周围带电部分留有足够的安全距离。

2）触电者在高压带电线路触电，又不能迅速切断电源的，可采用抛挂足够截面积的适当长度金属短线的方法，使电源开关跳闸；抛挂前，将短路线一端固定在临时接地端上，另一端系重物；但抛挂短路线时，应注意防止电弧伤人或断线危及人员安全。

3）如果触电人触及断落在地上的带电高压导线，且尚未验证线路无电，救护人员在未做好安全措施（如穿绝缘靴或临时双脚并紧跳跃接近触电者）前，不能接近断线点 8～10m 范围内，以防止跨步电压伤人；触电者脱离带电导线且被迅速带至 8～10m 以外后立即进行急救；只有在确定线路已经无电，才可在触电者离开触电导线后，立即进行急救。

9.4.3 救治触电者的方法

1．对触电者的伤害情况进行判断

触电者脱离电源后，首先用看、听、试的方法，迅速检查呼吸、心跳是否停止，瞳孔是否放大，如图 9-15 所示。

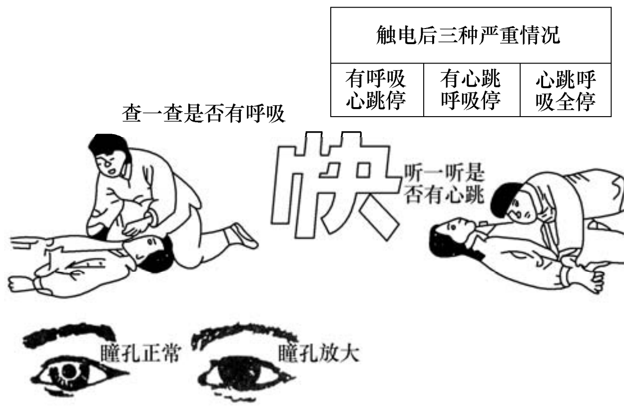


图 9-15 迅速检查症状

看就是看伤员的胸部、腹部有无起伏动作；听就是用耳贴近伤员的口鼻处，听有无呼吸声音；试就是试测伤员口鼻处有无气流。再用两手指轻轻试一侧（左或右）喉结旁凹陷处的静动脉有无搏动。



根据上述看、听、试的结果，决定采用何种急救方法。

1）如果触电人的伤害并不严重，神志还清醒，只是有一些心慌、四肢发麻、全身无力或者曾一度昏迷，但很快恢复知觉，则不需要做人工呼吸和胸外按压，应让其就地安静地躺下来，休息1～2h，并注意观察；在观察过程中，如发现触电者呼吸和心跳很不规则甚至接近停止，应赶快抢救。

2）如果触电人的伤害情况较严重，无呼吸、无知觉，但有心跳时，应采用口对口（鼻）人工呼吸；如触电者虽然有呼吸，但心跳已停止时，则应采用胸外按压的方法进行抢救。

3）如果触电人的伤害很严重，无知觉，心脏跳动和呼吸都已停止时，则需同时采用口对口人工呼吸和胸外按压两种方法进行抢救。

触电急救应就地进行，中间不能停顿。如果触电者电伤严重，非送医院不可，在途中也不能对其停止抢救。

在触电急救中，不能用土埋、泼水和压木板等错误方法抢救，避免使触电者加快死亡。

2．心肺复苏法

触电伤员的呼吸和心跳均已停止时，应立即按心肺复苏法支持生命的三项基本措施，正确进行就地抢救。三项基本措施如下：

1）通畅气道。

2）口对口（鼻）人工呼吸。

3）胸外按压（人工循环）。

（1）通畅气道

触电伤员的呼吸停止，重要的是应始终确保气道通畅。如发现伤员口内有异物，可将其身体及头部同时侧转，并迅速用一个手指或用两手指交叉从口角处插入，取出异物。操作中要注意防止将异物推到咽喉深处。

通畅气道常用仰头抬颌法，如图9-16所示。用一只手放在触电者前额，另一只手的手指将其下颌骨向上抬起，两手协同将头部推向后仰，舌根随之抬起，气道即可畅通，严禁用枕头或其他物品垫在伤员头上，头部一旦太高前倾，会加重气道的堵塞，且使胸外按压时心脏流向脑部的血流减少，甚至消失。

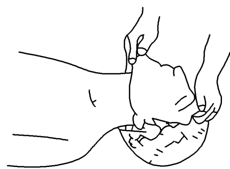


图9-16　仰头抬颌法

（2）口对口（鼻）人工呼吸

人工呼吸的方法有多种，主要目的是为了采用人工机械作用，促使肺部扩张和收缩，以达到气体交换的目的。口对口人工呼吸简单易学，效果好，是目前最常用的有效方法，具体操作步骤如下：

1）保持呼吸道气流畅通，清除口内的呕吐物、假牙等异物，如图 9-17a 所示。

2）救护人在触电者头部的左边或右边，用一只手捏紧触电者的鼻孔（不要漏气），另一只手将其下颌拉向前下方（或托住其后颈），使嘴巴张开（嘴上可盖上一层纱布或薄布，准备接受吹气，如图 9-17b 所示。

3）救护人做深吸气后，紧贴触电人的嘴巴向他大口吹气，同时观察其胸部有否膨胀，以决定吹气是否有效和是否适度，如图 9-17c 所示；每次吹气以使触电者的胸部微微鼓起为宜。

4）救护人吹气完毕换气时，应立即离开触电人的嘴巴，并放松紧捏的鼻孔，让他自动呼吸（排气）如图 9-17d 所示。



a) 头部后仰　b) 捏鼻掰嘴

c) 贴紧吹气　d) 放松换气

图 9-17　口对口人工呼吸法

5）抢救开始时，先连续大口吹气两次，每次 1～1.5s，然后吹气速度应均匀，一般以每 5s 重复一次（吹气 2s，呼气 3s）吹气时如有较大阻力，可能是头部后仰不够，应及时纠正；抢救过程中，应每隔几分钟观察



一下触电者呼吸是否已经恢复；如触电者已开始自主呼吸时，还应观察呼吸是否会再度停止，如果停止，应再继续进行口对口呼吸，但这时，口对口呼吸要与触电者微弱的自主呼吸规律一致。

口对口人工呼吸应不间断进行，抢救时，如果触电者牙关紧闭，可采用口对鼻吹气，方法与口对口基本相同。此时，可将触电者嘴唇紧闭，抢救者对其鼻孔吹气。吹气时压力应稍大，时间也应稍长，以利于气体进入触电者肺内。

（3）胸外按压

胸外心脏按压时用人工方法在胸外挤压触电者心脏，代替心脏的自然收缩和舒张，从而达到重新产生血液循环的目的，使触电者恢复心脏跳动。此方法不需任何设备，只要通过学习和联系就能掌握，具体操作步骤如下：

1）使触电者仰面躺在平硬的地上，救护人员站在或跪在伤员另一侧肩旁，两肩位于伤员胸骨正上方，两臂伸直，肘关节固定不屈，两手掌根相叠，手指翘起，不接触伤员胸臂如图 9-18 所示。

2）正确的按压位置是保证心脏按压效果的前提，确定正确按压位置的方法时用右手食指和中指沿触电者肋弓移至胸骨下的切迹；两手指并齐，中指放在切迹中点（剑突底部），食指平放在触电者胸骨下部，另一只手的掌根紧挨食指上缘，置于触电者胸骨上，这就是正确的按压位置，如图 9-19 所示。

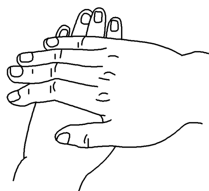


图 9-18　胸外按压时的手势

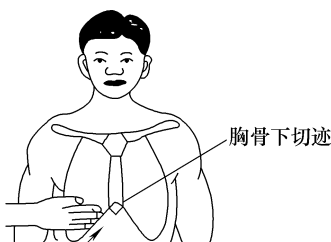


图 9-19　寻找正确的按压部位

3）救护人以髋关节为支点，利用上身的重力，垂直将触电者按压区处的胸骨压 4～5cm（儿童及瘦弱者酌减），以压出心脏里的血液；下压至规定深度后，迅速放松，使胸部利用其弹性恢复原状，心脏舒张，以便血

液回流到心脏，如图 9-20 所示。

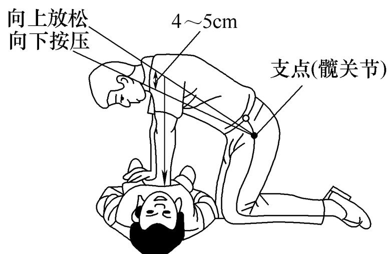


图 9-20　胸外按压

4）胸外心脏按压要以均匀的速度进行，每分钟 80 次左右，每次按压和放松的时间应相等；按压必须有效，有效的标志是按压过程中可以触及到颈动脉的波动。

应当指出，人的心脏跳动和呼吸是相互联系的，心脏跳动停止，呼吸很快就会停止；呼吸停止，心脏跳动也维持不了多久。一旦呼吸和心跳都停止，应当同时进行口对口呼吸和胸外心脏按压。其节奏若为单人抢救时，每按压 15 次后吹气两次（15:2），反复进行；双人抢救时，每按压 5 次后由另一人吹气一次（5:1），反复进行。

对触电者实施口对口人工呼吸和胸外按压时，抢救要坚持不断，且不可轻率终止。在送往医院的途中也不能停止抢救。抢救过程中，如发现触电者皮肤由紫变红，瞳孔由大变小，则说明抢救已收到了效果。如果发现触电者嘴唇稍有开合或眼皮活动，或喉咙间有咽东西的动作，则应注意触电者是否有自动心跳和呼吸，在正常的抢救过程中，当按压、吹气 1min 后，应用看、听、试的方法在 5～7s 时间内完成对伤员呼吸和心脏是否恢复的再判断。但心脏、呼吸恢复的早期有可能再次骤停，应严密监护，要随时准备再次抢救。

在抢救伤员的过程中，对触电者打“强心针”，应持慎重态度，如没有可靠的诊断设备条件和足够的把握，不得乱用。

3．营救杆上或高处触电者的方法

1）发现杆上或高处有人触电，应争取时间并及早在杆上或高处进行急救。救护人员登高时应随身携带必要的工具及牢固的绳索等，当一人进行急救时应紧急呼救，以便引起他人的注意而得到更多人的帮助。



2）救护人员在使触电者与电源脱离时，必须有防止触电者摔落的措施，同时应有防止自己触电的措施。当确认触电者已与电源脱离，且救护人员本身处于环境安全距离内且无危险电源时，方能接触触电者进行抢救，这时仍应有防止触电者高空坠落可能性的措施。

3）触电者脱离电源后，应将伤员扶卧在自己的安全带上或可利用的地方躺平，并注意保证伤员气道通畅。

4）救护人员迅速判定反应、呼吸和循环情况。如果呼吸停止，立即口对口（鼻）吹气 2 次，再测试颈动脉，如有搏动，则每 5s 继续吹气一次；如无颈动脉搏动，可用空心拳头叩击心前区 2 次，促使心脏复跳。

5）高处发生触电，为使抢救更为有效，应及早设法将触电者送到地面。在完成上述措施后，应立即用绳索将其送到地面，或送到附近的平地上，以便更好地急救，如图 9-21 所示。

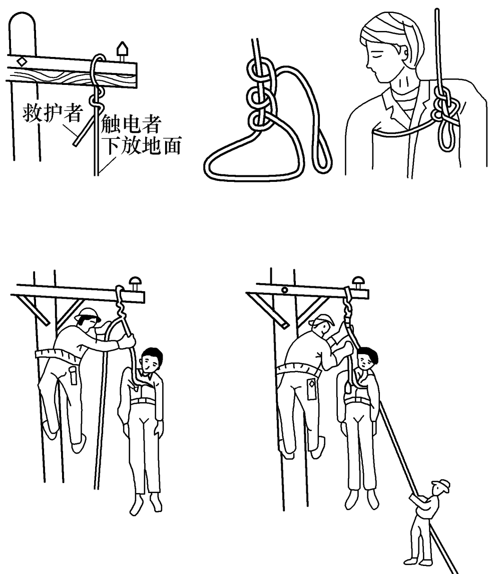


图 9-21　营救高处触电者的方法

6）将触电者由高处送至地面前，应再口对口（鼻）吹气 4 次，到达地面后立即继续进行人工呼吸及胸外心脏按压，直至将其救活。有关具体急救方法，可参照上述各条。

4．移动触电者的方法

1）人工呼吸及胸外心脏按压应在现场进行，不得为了方便而随意移动触电者，如确有移动的必要时，抢救中断时间不得超过 30s。

2）移动触电者或将其送往医院时，应使触电者平躺在担架上并在其背部垫以平整、坚硬宽阔的木板，不得采用双人直接抬运的方法，如图 9-22～图 9-24 所示。

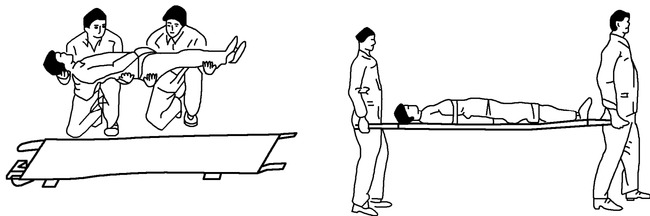


图 9-22　触电者要平躺在担架上

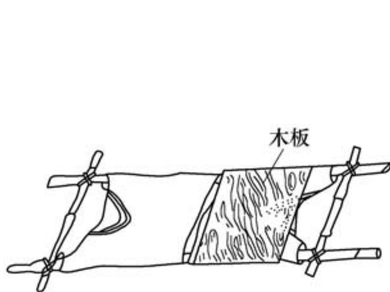


图 9-23　临时担架



图 9-24　错误的运送方法

3）在移动或送往医院途中，直到医院后医生未接替救治前均不能终止急救。

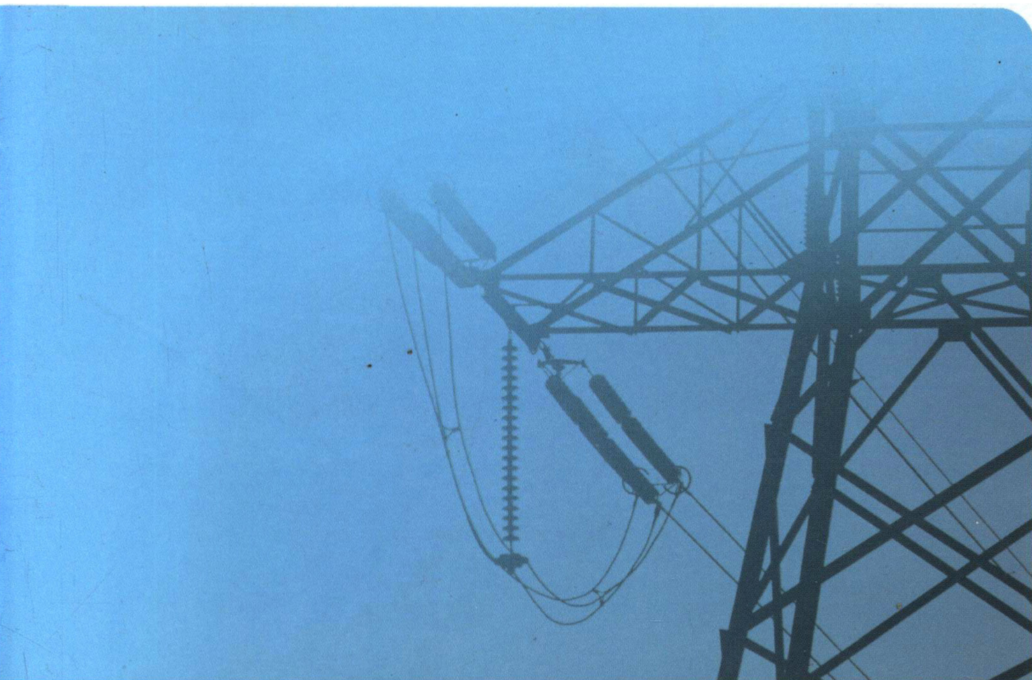
4）在急救中，应创造条件，用塑料袋装入砸碎的冰屑成帽状包裹在触电者头部，露出眼睛，使胸部温度降低，为恢复呼吸及心跳创造条件。



今天问答题



1. 保证电工安全的组织措施有哪些?
2. 保证电工安全的技术措施有哪些?
3. 怎样使用二氧化碳灭火器?
4. 怎样确定漏电保护器的动作时间和动作电流?
5. 可以赤手拽开触电者吗?
6. 心脉复苏法的步骤有哪些?

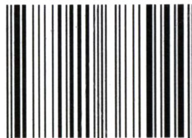


DIANGONG JINENG
9TIAN SUCHENG

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
社服务中心：010-88361066
销售一部：010-68326294
销售二部：010-88379649
读者购书热线：010-88379203
网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952

封面无防伪标均为盗版

上架指导 工业技术／电工技术
ISBN 978-7-111-38894-4
策划编辑◎付承桂／封面设计◎路恩中



定价：29.00元